



**Luís Filipe
da Silva
Areias**

**Análise de Desempenho das Ferramentas
CAD 3D da UA**



**Luís Filipe
da Silva
Areias**

Análise de Desempenho das Ferramentas CAD 3D da UA

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Carlos Alberto Moura Relvas, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e do Doutor António Manuel de Amaral Monteiro Ramos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof. Doutor João Alexandre Dias de Oliveira
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Ricardo Nuno de Oliveira Bastos Torcato
Professor Adjunto da Escola Superior de Design, Gestão e Tecnologias da Produção Aveiro Norte da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores, Professor Doutor Carlos Relvas e Professor Doutor António Ramos, pelo apoio, disponibilidade e sugestões fundamentais ao desenvolvimento da minha dissertação.

Agradeço aos meus amigos e em especial à minha família pelo apoio incondicional e encorajamento durante todo o percurso académico.

palavras-chave

CAD, cloud computing, CATIA, Solidworks, Solid Edge, Fusion 360, Onshape

resumo

O aparecimento de um novo paradigma como a *cloud computing* no panorama dos *softwares* CAD 3D, levou à necessidade de perceber se existem vantagens em adotar este novo sistema em relação ao modelo tradicional, nomeadamente no ambiente académico. Este trabalho teve por objetivo analisar e caracterizar o desempenho de cinco ferramentas CAD 3D disponíveis na Universidade de Aveiro (*CATIA V5*, *Solidworks student version* 2016-2017, *Solid Edge ST6*, *Fusion 360 student version* e *Onshape student version*) visando melhorar o processo de ensino-aprendizagem e desempenho dos futuros utilizadores. Deste modo, foram analisados as diferentes interfaces e transferência de ficheiros entre aplicações, procedeu-se à análise das quatro principais ferramentas de modelação (*revolve*, *extrude*, *sweep*, *loft*), efetuou-se a modelação de peças orgânicas e peças prismáticas, no modo sólido e superfície, analisou-se ainda o *assembly*, o *rendering* e o levantamento de forma de uma das aplicações. Para obter a caracterização de cada software para as funcionalidades em análise, no desenvolvimento do trabalho foi efetuada a modelação 3D de peças como uma chávena, um pires e uma peça mecânica e foram produzidas as respetivas imagens foto-realísticas. Para o levantamento de forma foi utilizado um punho e um rato de computador. Foi igualmente efetuada uma montagem elementar de um conjunto de peças. Os resultados obtidos apontam para a robustez das aplicações baseadas no *cloud computing* onde por exemplo, o *software Fusion 360* caracterizou-se por um número reduzido de erros em associação a uma

vasta aplicabilidade, aceita os *sketches* mais rudimentares e apresenta o menor número de erros na modelação das peças em análise, já o *software Onshape* caracteriza-se por uma utilização bastante intuitiva, mas uma reduzida aplicabilidade. No entanto o menor tempo de modelação, para as peças estudada foi apresentado pelo *software Solid Edge*. Os resultados deste estudo devem ser completados com uma análise de projetos de maior complexidade.

keywords

CAD, cloud computing, CATIA, Solidworks, Solid Edge, Fusion 360, Onshape

abstract

The appearance of a new paradigm such as cloud computing in the scenery of CAD 3D software, led to the need to understand if there advantages in adopting this new system instead of the traditional model, especially in academic environment. This work had as goal, analyze and characterize the development of five tools CAD 3D available in Aveiro's University (CATIA V5, Solidworks student version 2016-2017, Solid Edge ST6, Fusion 360 student version e Onshape student version) aiming the improvement of teach-learning process and performance of future users. Thus, the different interfaces and transference of files between apps were analyzed, proceeded to the analysis of the four major tools of modeling (revolve, extrude, sweep, loft), to modeling the organic and prismatic pieces, on solid and surface modes, to assembly, to rendering and to form lifting. To get the description of each software for the functionalities in analysis, during the development of this work, was performed a 3D modeling of pieces like a cup, a saucer, and a mechanic piece and were produced the respective photo-realistic images. For the form lifting was used a grip and a computer mouse. Likewise, were performed an elementary assembly of set of pieces. The obtained results point to the robustness of the apps based on cloud computing, where, for example, the software Fusion 360 is characterized for its reduced number of errors associated with vast applicability, accepts the most rudimentary sketches and presents the fewest number of errors while modeling the pieces under analysis. Yet, the Onshape software is characterized for its intuitive utilization, but with reduced applicability. However, the lower modeling

time, for the pieces under evaluation, was presented by the Solid Edge software. The results of this study must be completed with a project analysis with bigger complexity.

Índice

Lista de Tabelas	1
Lista de Figuras	2
Lista de Acrónimos	4
1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Contextualização	5
1.2 Objetivos Gerais	7
1.3 Revisão Bibliográfica	7
1.4 Contribuição do Trabalho.....	9
1.5 Organização do Documento.....	9
2 ESTADO DA ARTE.....	11
2.1 CAD (computer aided design)	11
2.2 Computação na nuvem (Cloud Computing).....	15
2.2.1 Caraterização e tipos de serviços fornecidos pela cloud	17
2.2.2 Tipos de cloud	21
2.3 O Modelo De Ensino Na Universidade De Aveiro	22
2.3.1 Objetivos de ensino.....	23
2.4 Cloud Computing na Educação	24
3 METODOLOGIA DE ESTUDO	27
3.1 Caracterização Das Aplicações Informáticas Utilizadas	27
3.1.1 CATIA	27
3.1.2 Solidworks	29
3.1.3 Solid Edge	30
3.1.4 Fusion 360	31
3.1.5 Onshape	31
3.2 Análise dos Softwares	32

3.3	Estudo das Ferramentas de Modelação.....	34
3.3.1	Criação de sketch e aplicação das ferramentas de modelação	34
3.3.2	Estudo comparativo da modelação De Peças Orgânicas E De Peças Prismáticas....	35
3.3.3	Análise da ferramenta de Montagem (Assembly)	40
3.3.4	Análise da ferramenta de foto realismo (Rendering).....	41
3.3.5	Estudo do Levantamento de Forma	41
4	RESULTADOS OBTIDOS.....	43
4.1	Funcionalidades disponibilizadas pelos softwares.....	43
4.1.1	Formatação de ficheiros.....	44
4.2	Análise das Ferramentas de Modelação	46
4.3	Análise Da Modelação De Peças Orgânicas E Peças Prismáticas	47
4.4	Análise da ferramenta de montagem	50
4.5	Análise do estudo de Foto Realismo (Rendering)	52
4.6	Estudo De Levantamento De Forma	53
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	57
5.1	Análise Das Funcionalidades Dos Softwares	57
5.2	Resultados das Ferramentas de Modelação	58
5.3	Resultados Da Modelação De Peças Orgânicas E De Peças Prismáticas.....	59
5.4	Resultados Da Ferramenta De Montagem.....	61
5.5	Resultados da ferramenta de foto realismo	61
5.6	Resultados do Levantamento de Forma	62
6	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	63
6.1	Desenvolvimentos Futuros.....	65
7	REFERÊNCIAS.....	67
	ANEXOS	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Ferramentas utilizadas na modelação da chávena no modo sólido	36
Tabela 2- Ferramentas utilizadas na modelação da chávena no modo superfície	37
Tabela 3- Ferramentas utilizadas na modelação do pires no modo sólido.....	37
Tabela 4- Ferramentas utilizadas na modelação do pires no modo superfície	37
Tabela 5- Ferramentas utilizadas na modelação da peça mecânica no modo sólido.....	39
Tabela 6- Ferramentas utilizadas na modelação da peça mecânica no modo superfície.....	39
Tabela 7- Resultados das funcionalidades dos softwares.....	43
Tabela 8- Resultados da importação e exportação de ficheiros nos formatos IGS, STP e STL	45
Tabela 9- Resultados dos sketches selecionados no modo sólido.....	46
Tabela 10- Resultados dos sketches selecionados no modo superfície.....	47
Tabela 11- Resultados obtidos na modelação do pires	48
Tabela 12- Resultados obtidos na modelação da chávena	49
Tabela 13- Resultados obtidos na modelação da peça mecânica.....	49
Tabela 14- Resultados dos testes realizados sobre o assembly.....	51
Tabela 15- Resultados da importação dos ficheiros retirados do scanner 3D.....	53
Tabela 16- Resultados dos objetos criados nos softwares CATIA e Solidworks.....	55
Tabela 17- Resultados dos objetos criados no software Fusion 360	56
Tabela 18- Formatos de importação e exportação do software CATIA	81
Tabela 19- Formatos de importação e exportação do software Solidworks	82
Tabela 20- Formatos de importação e exportação do software Solid Edge	83
Tabela 21- Formatos de importação e exportação do software Fusion 360	84
Tabela 22- Formatos de importação e exportação do software Onshape	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Uma interface do software CATIA V5	28
Figura 2- Uma interface do software Solidworks student version 2016-2017	29
Figura 3- Uma interface do software Solid Edge ST6	30
Figura 4- Uma interface do software Fusion 360 student version.....	31
Figura 5- Uma interface do software Onshape student version.....	32
Figura 6- Quatro sketches a testar (do mais rudimentar (a)) ao mais modificado (d))	34
Figura 7- Chávena.....	35
Figura 8- Esquema da chávena; a) perfil da chávena; b) seção da pega.....	35
Figura 9- Pires.....	36
Figura 10- Esquema do pires	36
Figura 11- Foto real da peça mecânica e Perspetiva isométrica.....	38
Figura 12- Assembly	40
Figura 13- Base representada na figura 11 a cinzento.....	40
Figura 14- Peça1 representada na figura 11 a azul	40
Figura 15- Peça2 representada na figura 11 a cor de tijolo	40
Figura 16- Assembly da chávena com o pires	41
Figura 17- Demonstração dos ficheiros retirados do scanner 3D.....	42
Figura 18- Rendering no software CATIA	52
Figura 19- Rendering no software Solidworks	52
Figura 20- Rendering no software Solid Edge	52
Figura 21- Rendering no software Fusion 360	52
Figura 22- Desenho de definição 2D da peça mecânica	80
Figura 23- Rendering da chávena no software CATIA.....	85
Figura 24- Rendering do pires no software CATIA	85
Figura 25- Rendering da peça mecânica no software CATIA	85

Figura 26- Rendering da chávena no software Solidworks	85
Figura 27- Rendering do pires no software Solidworks	85
Figura 28- Rendering da peça mecânica no software Solidworks	85
Figura 29- Rendering da chávena no software Solid Edge	86
Figura 30- Rendering do pires no software Solid Edge	86
Figura 31- Rendering da peça mecânica no software Solid Edge	86
Figura 32- Rendering da chávena no software Fusion 360	86
Figura 33- Rendering do pires no software Fusion 360	86
Figura 34- Rendering da peça mecânica no software Fusion 360	86
Figura 35- Chávena modelada no software Onshape no modo superfície.....	87
Figura 36- Peça mecânica modelada no software Onshape no modo superfície.....	87

LISTA DE ACRÓNIMOS

CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
PAYG	<i>Pay As You Go</i>
IT	<i>Information Technology</i>
CIO	<i>Chief Information Officer</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
B-Rep	<i>Boundary Representation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SaaS	<i>Cloud Software-as-a-Service</i>
PaaS	<i>Cloud Platform-as-a-Service</i>
IaaS	<i>Cloud Infrastructure-as-a-Service</i>
UA	Universidade de Aveiro
LMS	<i>Learning Management Systems</i>
SDRC	<i>Structural Dynamics Research Corporation</i>
TIC	Tecnologias da Informação e da Comunicação

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Define-se *Computer-Aided Design* (CAD) como uma tecnologia baseada no uso de ferramentas de *hardware* e *software*, que serve de apoio à resolução de problemas ao nível do *design*, modelação, análise, representação e comunicação(1). Esta ferramenta multifacetada sofreu uma evolução significativa desde o seu aparecimento em meados dos anos 60(2). Previamente a este período, o *design* enquanto conceito surgiu face ao desenvolvimento da geometria descritiva, suportado no trabalho pioneiro de René Decartes(3).

A principal área a usufruir da enorme aplicabilidade do CAD é a indústria. No entanto, esta ferramenta tecnológica pode ter diferentes significados de acordo com a área em que é aplicada, pois enquanto na indústria esta serve de apoio tecnológico, já na investigação e desenvolvimento esta pode considerar-se um campo de apoio à ciência(1).

Esta simbiose entre a ciência e a tecnologia que o CAD suporta, impulsionou uma mudança no que diz respeito à acessibilidade desta ferramenta.

O acesso à rede de um conjunto de recursos compartilhados de computação configuráveis define o modelo de *cloud computing* (4). Este modelo permite um acesso rápido com mínimo esforço de gestão e interação com o fornecedor de serviços, assim como a característica de ser *pay-per-use*(5) ou *pay as you go* (PAYG)(6).

Esta facilidade fomentou a utilização destes serviços por parte da indústria, em diversas áreas de atuação, assim como no ensino.

Em 2010 a *Microsoft* salientou a necessidade das instituições educacionais responderem ao desafio de ultrapassar possíveis limitações na prestação de suporte às atividades educacionais, pesquisa e

desenvolvimento. A atual crise financeira também justifica que o uso do *Cloud Computing* seja uma necessidade e não uma opção, para as instituições educacionais(7).

Nas instituições educacionais, o desafio de responder a uma crescente necessidade de que os seus alunos obtenham sucesso no mercado de trabalho pela elevada competição de mercado, obrigou a uma adequação nas metodologias de ensino.

Em termos regionais, as características industriais de Aveiro, com uma forte implantação de indústrias metalomecânica, automobilística, ciclística e naval impulsionou a fundação do departamento de Engenharia Mecânica em 1994(8). Este curso de engenharia ajudaria a promover o envolvimento académico no desenvolvimento de atividades industriais da região.

O forte vínculo da Universidade com a comunidade levou a que a política de educação do departamento se tenha direcionado para a preparação de estudantes para a vida e carreira profissional através da aquisição de competências abrangentes(8). Este objetivo está refletido no plano curricular do curso com base na premissa de que são as decisões do quotidiano que nos orientam sobre o que ensinar e como ensinar(9). Estas competências ultrapassam meramente a habilidade de manipular ferramentas, usar materiais e aplicar processos mecânicos, são também a resolução de problemas, o pensamento crítico e as formas ordenadas de trabalhar(10).

O ensino-aprendizagem centrado em projetos para ensinar ferramentas de *computer-aided engineering* para o *design* de produtos, é um exemplo dos conteúdos dos programas de engenharia dentro do módulo CAD(8). Os *softwares* CATIA e Solidworks, ambos da empresa Dassault Systèmes são aplicações de grande utilização por parte das indústrias da região de Aveiro(8). Presentemente os *softwares* Solidworks, Solid Edge e Fusion 360 são utilizados por parte do departamento de engenharia mecânica no âmbito do ensino académico.

O recurso a programas de educação em engenharia proporciona aos estudantes uma vasta experiência prática e abrangente em trabalho de equipa e comunicação técnica, bem como a oportunidade de exercer e desenvolver a sua criatividade(11). Assim, de forma a contribuir para uma seleção dos *softwares* que melhor se adequem aos objetivos propostos na área da educação com recurso a *softwares* CAD foram definidos os objetivos deste estudo.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos deste trabalho foram a análise de desempenho das ferramentas CAD 3D, visando melhorar o processo de aprendizagem e posterior desempenho dos futuros utilizadores dos produtos CAD 3D disponibilizados na Universidade de Aveiro. Assim foi efetuada a caracterização e análise de desempenho dos *softwares* CATIA V5, *Solidworks student version* 2016-2017, *Solid Edge* ST6, *Fusion 360 student version* e *Onshape student version*, considerando diferentes parâmetros.

Tendo sido efetuado o estudo e análise das funcionalidades dos softwares, nomeadamente ao nível das aplicações disponíveis: tipo de instalação e funcionamento a partir de instalação local ou na cloud; capacidade de criação de desenhos 2D; tipos de formatos de ficheiro suportados; realização de montagens; realização de imagens foto realísticas e possibilidade de efetuar levantamento de forma (reverse engineering).

Assim como, o estudo e análise das ferramentas de modelação, criação de sketch e aplicação das ferramentas de modelação e análise comparativa da modelação sólida e por superfícies em diferentes geometrias (peças orgânicas e peças prismáticas) através de modelação.

1.3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Apesar da inexistência de uma definição unânime de *cloud computing* entre grande parte das organizações, é possível descrevê-lo como um modelo que permite acesso de rede omnipresente, conveniente e sob procura a vários recursos de computação configurados (por exemplo, redes, servidores armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e lançados com mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços”(12)(4).A capacidade de fornecer todas as funcionalidades dos serviços existentes em *information technology* (IT), associado ao *cloud computing*, possibilitou quer a utilização de novas funcionalidades quer a

redução dos custos de implementação e manutenção de serviços que impediam muitas organizações de utilizar serviços de ponta(13)(14)(15). Esta evolução foi acompanhada de preocupações com as questões de segurança, reportadas por 75% dos executivos de IT e *Chief information officer* (CIOs) a par das questões de desempenho e confiabilidade(16). Isto justificou o estabelecimento de medidas para tornar o ambiente em *cloud* seguro, privado e isolado na Internet(6)(17).

A possível utilização dos *softwares* em *cloud* pode ser apontada como uma evolução dos sistemas CAD pois proporcionou um trabalho em grupo mais eficaz e eficiente permitindo a disponibilidade de recursos sem a necessidade de instalação local no equipamento físico.

A enorme aplicabilidade do CAD nas diferentes áreas também justificou a identificação de limitações e desafios. O principal desafio, relacionado com a fidelização do cliente, prende-se com a compatibilidade entre os *softwares* de forma a satisfazer as necessidades do mesmo. Por outro lado, a especificidade do CAD obriga à necessidade de formação especializada para trabalhar com os *softwares* tornando-se, por isso, uma limitação.

As vantagens a destacar da *cloud computing* prendem-se essencialmente com a aprendizagem, onde facilita as habilidades de reflexão do aluno e aumenta a sua motivação, compreensão e desempenho em tais programas(18). O principal ambiente institucional em que o *cloud computing* é de extrema importância é a instituição educacional, onde o trabalho administrativo e as atividades educacionais a par da investigação assumem especial relevo. Tal facto, explica a razão de muitas universidades implementarem *cloud computing* para permitir que os estudantes acedam em qualquer lugar e a qualquer hora(19)(18)(20). A vantagem económica também importa salientar na medida em que as instituições podem assim reduzir consideravelmente as despesas em licenciamento de *software* (21).

Devido à redução de fundos disponíveis para as instituições educacionais é essencial o apoio por parte da comunidade empresarial aos programas tecnológicos, na medida em que a aprendizagem de competências informáticas é a força de trabalho do ‘amanhã’ num mundo cada vez mais *high-tech*. Estas relações transmitem uma noção do mundo real e ampliam horizontes da comunidade educacional(21), estreitando as ligações entre estudantes, professores, instituições e profissionais em todo o mundo.

1.4 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

O estudo da caracterização de *softwares* CAD é uma área ainda em exploração, podendo este estudo contribuir para uma escolha fundamentada dos *softwares* a utilizar em ambiente académico de acordo com os objetivos de lecionação.

Uma melhor compreensão dos tipos de aplicabilidade assim como o comportamento de cada *software* perante diferentes desafios, pode ser considerada vantagem para a gestão de ferramentas a utilizar no desenvolvimento do pensamento científico e competências técnicas de forma a resolver problemas de engenharia e *design* industrial.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

A presente dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos.

O primeiro capítulo “Introdução” é composto por uma contextualização e revisão bibliográfica dos tópicos analisados assim como os objetivos do estudo.

O segundo capítulo “Estado de Arte” é composto por uma caracterização do CAD, do cloud computing, da metodologia e histórico da UA e do cloud computing na educação.

O terceiro capítulo “Metodologia de Estudo” é composto por uma caracterização dos *softwares* em análise, explicação dos métodos utilizados para comparar os *softwares* e demonstração das peças selecionadas para executar essa comparação.

O quarto capítulo “Resultados Obtidos” apresenta os resultados teóricos e experimentais obtidos.

O quinto capítulo “Análise dos Resultados” é composto pela análise e compreensão dos resultados obtidos.

O sexto capítulo “Conclusões e Considerações” apresenta as ideias principais alcançadas com a análise dos resultados obtidos, bem como considerações finais.

No final são apresentadas as “Referências Bibliográficas” que enumera a bibliografia consultada durante a dissertação e os “Anexos” onde se apresentam as tabelas e imagens referenciadas ao longo do texto.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 CAD (COMPUTER AIDED DESIGN)

Criado em 1963 por Ivan Sutherland, *Sketchpad*, é o nome do primeiro programa relacionado com sistemas CAD, considerado assim o “pai” do CAD(1)(2). O utilizador, através de uma caneta ótica, interagia com o *software* no monitor *cathodic ray tube*(1)(2). As bases foram lançadas e contribuíram para o desenvolvimento da primeira geração de sistemas CAD focados nas aplicações de *drafting* 2D(1)(2). O maior fabricante desta primeira geração de *software* foi a *General Motor* que produziu o sistema *design automated by computer*, seguindo-se uma série de outros programas: *McDonnell-Douglas CADD* em 1966, *Ford PDGS* em 1967 e *Lockheed CADAM* em 1967(1)(2).

A comercialização dos sistemas CAD iniciou-se nos anos 70, sendo de evidenciar a cronologia da evolução dos programas lançados bem como seus criadores(22)(23):

- 1975 surgiu o primeiro *software Unigraphics System* vendido pela empresa *United Computing*. No mesmo ano a empresa *Avion Marcel Dassault* adquiriu a aplicação CADAM à empresa *Lockheed*, seguindo-se o início do desenvolvimento do programa 3D CAD chamado CATI pelos mesmos.
- 1979 *Boeing*, *General Electric* e *National Institute of Standards and Technology (NIST)* definiram um novo formato de transferência de dados 3D chamado IGES.

- 1981 a empresa *Unigraphics* apresentou o primeiro sistema de modelação de sólidos, chamado *UniSolids*, enquanto que a empresa *Avion Marcel Dassault* criou *Dassault Systèmes* que em 82 lançou *CATIA V1* (primeira versão comercial de CATI) como *CADAM add-on*. Ainda em 1981 a empresa *Structural Dynamics Research Corporation* (SDRC) lançou a aplicação *I-DEAS*.
 - 1983 a aplicação *Unigraphics II* foi introduzida no mercado, enquanto que a empresa *Autodesk*, que tinha sido fundada em 82, lançou o *software AutoCAD*.
 - 1984 a empresa *Apple* apresentou primeira *Macintosh 128*.
 - 1985 a empresa *Apple* apresentou o *software MiniCAD*, sendo o programa CAD mais vendido para *Mac*, enquanto que a empresa *Dassault Systèmes* lançou o *software CATIA V2* independente da aplicação *CADAM*.
 - 1987 a empresa *Varimetrix* produziu o primeiro *Boundary Representation (B-Rep) solid modeler*, neste mesmo ano ocorreu uma grande revolução no que diz respeito ao CAD industrial com o lançamento do *software Pro/Engineer* por parte da *Parametric Technology Corporation*. Isto deveu-se ao facto de o *software Pro/Engineer* ser o primeiro paramétrico e associativo *solid modeler* no mercado para *UNIX workstations*. Possuindo ainda uma interface muito intuitiva e inovadora baseada em *X-Window*.
 - 1988 foi lançado o *software CATIA V3* e *software* da *Unigraphics* para *UNIX workstation*.
 - 1989 foi lançado *ACIS kernel*, enquanto que, empurrado pela inovação do *software Pro/Engineer*, *Unigraphics* retirou a sua aplicação *UniSolids* e lançou um novo programa baseado em *Parasolid*, chamado *UG/Solids*.
- Nos primeiros anos da década de 90, o *software CAD* funcionava em *UNIX workstation* e não mais em *mainframe* e minicomputadores. O mercado CAD foi dominado por poucas empresas, como a *IBM-Dassault Systèmes*, *EDS-Unigraphics*, *Parametric Technology* e *SDRC*.
- 1994 a *Microsoft* lançou o seu primeiro sistema operativo de 32 bits e a *Intel* o seu primeiro *Pentium Pro*. *ACIS* e *Parasolid* estavam rapidamente disponíveis para *Windows NT*.
 - 1995 foi lançada a primeira versão do *software Solidworks*, estava assim disponível para *desktop pc software 3D CAD*. A chegada do novo *Windows* económico baseado num sistema 3D CAD modificou fortemente o mercado, levando ao nascimento de uma nova categoria 3D CAD *mid-price*.

- 1996 foi lançado o *software Solid Edge*, originalmente desenvolvido e lançado pela *Intergraph*, usando o *kernel* de modelagem geométrica ACIS.
- 1997 a empresa *Dassault Systèmes* adquiriu a aplicação *Solidworks*.
- 1998 foi lançado a aplicação *CATIA V5* totalmente suportado no *Windows*.
- 1999 a empresa *Autodesk* lançou o *software Inventor*, um 3D CAD baseado no ACIS *kernel* e não no *AutoCAD* como o *Mechanical Desktop* anterior.
- 2000 a empresa *Dassault Systèmes* adquiriu o *kernel* de modelagem do ACIS, no mesmo ano os principais esforços dos desenvolvedores de *software* CAD foram simplificar e fazer modelos mais intuitivos e integrar o CAD em *Product lifecycle management* (PLM) mais amplas.
- 2001 a empresa *Unigraphics Solution* tornou-se UGS e adquiriu a empresa SDRC.
- 2007 foi lançado o *software SpaceClaim*, um CAD 3D inovador de modelagem direta *history-free*.

No final dos anos 2000 reagindo à inovação da aplicação *SpaceClaim*, os desenvolvedores de CAD começaram a integrar a função de modelagem direta nos seus produtos.

- 2008 os *softwares* NX e *Solid Edge* integram uma nova ferramenta chamada *Synchronous Technology* e o *software Solidworks* propõe *Instant 3D*. No mesmo ano é lançado a aplicação *CATIA V6* que permite edição direta.
- 2009 a empresa Autodesk lançou a sua *Inventor Fusion Technology*.

Chegamos à idade de sistemas CAD híbridos.

- 2013 a empresa Autodesk lançou a aplicação *Fusion 360* disponível para ambiente em *cloud*.
- 2014 foi lançado o *software CATIA* na *cloud*.
- 2015 foi lançado o *software Onshape*, focado completamente no ambiente em *cloud*, disponível para qualquer telemóvel ou tablet.

Estes factos cronologicamente apresentados contribuíram para a identificação de cinco gerações de modelos CAD(2). A primeira geração de CAD, *Computer-Aided Drafting* teve como objetivo representar o objeto pela projeção das suas bordas num plano 2D.

Na segunda geração de CAD, o objeto é representado pelos seus limites, mas num espaço 3D (representação *wireframe*). Isto permitia gerar perspetivas 2D de qualquer ponto de vista. Apesar

da ambiguidade deste modelo, na medida em que todas as arestas do modelo são visíveis ao mesmo tempo, existem situações em que este modelo pode ser útil porque mostra frente, costas, parte superior e inferior do objeto em simultâneo.

Na terceira geração de CAD, o objeto é representado pelas suas superfícies de contorno (*Boundary Representation* ou B-Rep). Elementos de superfície são montados para formar um limite “hermético” que encerra o espaço tridimensional ocupado pelo objeto modelado. É importante perceber como B-Rep difere de uma modelagem de superfície tradicional. Enquanto que um sistema CAD não sólido pode representar superfícies, um sistema B-Rep também deve garantir que as superfícies formam uma partição completa do espaço, mesmo depois de ter sido amplamente modificado.

O objeto é representado pelo espaço 3D ocupado (*Constructive Solid Geometry*), na quarta geração de CAD. Nesta geração é possível determinar se um qualquer ponto no espaço é interno, limite ou externo ao modelo sólido através de uma representação matemática inequívoca. O objeto é construído usando operações booleanas (união, interseção e subtração) para combinar formas sólidas simples (esferas, blocos, cilindros, entre outros).

A quinta geração é caracterizada pela flexibilidade do sistema (*Feature Based Systems*), onde o objeto é representado através das suas características, sendo possível ainda montar componentes diferentes através de relações de acoplamento complexas.

De facto, grande parte da informação necessária no ciclo de vida de um produto, particularmente o seu *design* e processo de fabricação, evoluiu em torno das formas geométricas do produto. Historicamente isso levou ao interesse pela modelação geométrica e a geração atual de sistemas CAD baseados em técnicas de modelação geométrica que fornecem funcionalidade útil para a elaboração, detalhe, visualização e análise geométrica. Os sistemas de CAD da quinta geração são chamados também de *history-based CAD system* e são capazes de capturar a intenção de *design* de um utilizador original, porque o *software* lembra e reforça as relações entre os objetos construídos pelo *designer*.

A evolução do CAD espelhada pelo desenvolvimento de diferentes gerações de sistemas também foi acompanhada de limitações que importa enunciar.

Uma das maiores limitações do 3D CAD paramétrico é a necessidade de pessoal bem treinado e altamente especializado. De facto, embora a abordagem paramétrica seja poderosa, requer um conhecimento especializado sobre a melhor forma de incorporar restrições e relacionamentos de

engenharia dentro de um modelo(24). A questão de interoperabilidade também pode ser considerada uma limitação sendo dois os principais obstáculos que impedem a efetiva interoperabilidade entre diferentes sistemas CAD. O primeiro é devido à falta de intenção por parte dos fornecedores para resolver o problema, na medida em que, cada um tenta defender a sua quota de mercado, bloqueando os seus clientes nos formatos proprietários de CAD. O segundo é devido a um problema técnico, isto é, cada sistema CAD tem a sua própria maneira de armazenar e gerenciar dados, a troca entre diferentes sistemas (e por vezes entre versões do mesmo sistema) é feita por padrão como IGES ou STEP contendo apenas dados de forma, perdendo um amplo conjunto de informações incluindo as intenções de projeto(25)(26). Entre as informações perdidas, usando formato de arquivo neutro, temos(27): *construction history, parameters, constraints* e *features*.

2.2 COMPUTAÇÃO NA NUVEM (CLOUD COMPUTING)

Apesar da inexistência de uma definição unânime de *cloud computing* entre grande parte das organizações, é possível descrevê-lo como um modelo que permite acesso de rede onnipresente, conveniente e sob procura a vários recursos de computação configurados (por exemplo, redes, servidores armazenamento, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e lançados com mínimo esforço de gerenciamento ou interação do provedor de serviços(12)(4). De facto, um dos seus principais objetivos é fornecer armazenamento, rede, servidores, computação ou a sua combinação aos utilizadores(28). Esta oferta é baseada na necessidade de guardar, processar e analisar uma grande quantidade de dados, levando muitas organizações e particulares a adotar a *cloud computing*(29).

Antes da popularidade da *Cloud Computing*, outros modelos semelhantes foram propostos, como por exemplo o *Network Computing*, que surgiu em meados da década de 1990. Este modelo, demasiado teórico, não funcionou devido a falta de evolução das tecnologias subjacentes e necessárias para sustentar os serviços de base. De facto, a insuficiente largura de banda, associado

ao elevado custo da sua utilização, interferiu com a velocidade e fiabilidade necessária às empresas comparativamente às infraestruturas que estas empresas possuíam(30).

Em 2006, a referência ao *Cloud Computing* por Eric Schmidt, CEO e Presidente da Google durante a conferência *Search Engine Strategies*, marcou a identificação pública do que viria a ser considerado um serviço de utilidade relevante. O seu rápido crescimento pode ser justificado devido ao suporte por parte dos seus principais fornecedores destes serviços, como *Amazon*, *Microsoft*, *IBM* e *Google*. O sucesso deste serviço também se deveu ao estabelecimento de vários padrões de interoperabilidade, segurança e *Quality of Service* (QoS) em vigor(31). O sucesso da Internet e o rápido crescimento de tecnologias de processamento e armazenamento também proporcionou o desenvolvimento do *cloud computing*, na medida em que suportou recursos de computação menos dispendiosos, mais poderosos e mais ubíquos(32). De evidenciar a virtualização, a computação em rede e a arquitetura orientada a serviços, das tecnologias que contribuíram significativamente para a viabilização do *cloud computing*(33).

Contudo, esta crescente popularidade dos serviços do *cloud computing* exige atenção para os seus aspetos comerciais(34). Assim, neste mercado, vários provedores de serviços competem entre si sobre preços e QoS, a fim de maximizar o seu retorno sobre o investimento, enquanto por parte dos utilizadores existe competição pelos recursos necessários e limitados, pelo menor preço e uma boa QoS, minimizando o custo total de aquisição(34).

Assim, os utilizadores pretendem usufruir de todos os benefícios da *cloud* e os provedores lutam para maximizarem os seus lucros.

Sendo por isso um grande desafio encontrar um mercado ótimo, baseado em estratégias imparciais e oferecendo a melhor satisfação possível ao utilizador e ao provedor de serviços. Considerando que tanto o utilizador como o provedor são racionais, inteligentes e competem no mercado da *cloud*, surgiu um modelo baseado em leilões(35). Nestes, o preço é determinado pela oferta e demanda dos recursos, sendo estes fáceis de implementar, descentralizados e adequados para sistemas distribuídos, como o *grid computing*, *cloud computing*, entre outros(36). Isto também fomenta uma competição saudável entre os utilizadores e aumenta a eficiência do uso dos recursos da *cloud* (37), promovendo preços dinâmicos de forma a aumentar a receita total dos provedores com base na oferta/demanda dos recursos(38).

2.2.1 CARATERIZAÇÃO E TIPOS DE SERVIÇOS FORNECIDOS PELA CLOUD

Fornecer todas as funcionalidades dos serviços existentes em *information technology* (IT), tentando mesmo possibilitar novas funcionalidades até agora inviáveis, é a essência do *cloud computing*, reduzindo drasticamente os custos de implementação e manutenção de serviços computacionais que impedem muitas organizações de utilizar serviços de ponta(13)·(14)·(15).

Com base no NIST, considerada a organização responsável pelo desenvolvimento de diretrizes e padrões de segurança no ambiente em *cloud*(5), podem ser apontadas 5 características básicas da *cloud computing* como sendo 1) auto-atendimento sob demanda; 2) acesso amplo à rede; 3) agrupamento de recursos; 4) elasticidade; 5) serviço medido (39).

No que diz respeito ao auto-atendimento sob demanda, importa salientar que é possível aceder a qualquer momento sem a existência de associação humana com o provedor. Os recursos de computação incluem poder de processamento, armazenamento, máquinas virtuais, entre outros. Relativamente ao acesso à rede global, salienta-se a possibilidade em aceder aos serviços em qualquer lugar, desde que se possua um dispositivo com navegador web e uma conexão com a Internet. O agrupamento de recursos é realçado pela capacidade de agrupar recursos com possibilidade de transmissão para vários clientes, sem que o local físico interfira com fornecimento dos serviços. A elasticidade refere-se à possibilidade de o utilizador poder aumentar ou diminuir a capacidade contratada em qualquer momento(40). Esta característica é fator chave em qualquer negócio pois permite agilidade e sincronização entre as necessidades e os recursos disponíveis. Por último, serviço medido é justificado pela possibilidade de quantificação da utilização de recursos com base na monitorização do armazenamento usado, horas de CPU, uso de largura de banda, entre outros(41)·(4)·(42).

Sendo o fornecimento de serviços sob procura e o modelo *pay-per-use* características que oferecem grandes vantagens sobre o modelo tradicional(43) ou também conhecido como modelo PAYG fornece enormes benefícios para a indústria e utilizadores domésticos e atrai a atenção da comunidade de pesquisa(44).

Entre os principais motores da *cloud computing* podemos referir a simplificação, conveniência e economia(45), o que demonstra um enorme potencial no que diz respeito à redução de custo de IT para as organizações(46). Sendo mesmo referido numa pesquisa realizada pelo *Gartner Research*

que cerca de dois terços do orçamento médio para IT vai para atividades de manutenção e de operações de rotina(47).

Para além das características chave já mencionadas importa apontar outras características referidas na literatura:

- Virtualização(48)(6): a virtualização consiste na utilização de *hardware* ou *software* para criar a observação de algo. O servidor deve possuir um CPU próprio capaz de executar um sistema operacional específico, como *Windows*, *Linux* ou *Mac OS*.
- *Pay-per-use*. Paga-se pelos serviços consoante o consumo. Esta característica é uma vantagem em comparação com o modelo tradicional, em que se tinha de investir em *hardware* e *software*, para além dos custos com operacionais, manutenção e custos administrativos(49).
- Escalabilidade. É a capacidade de melhorar o desempenho do sistema, aumentando os recursos computacionais(50).
- Migração: é a capacidade de mudar a localização dos recursos computacionais de acordo com os objetivos de uma aplicação ou sistema específico. A migração fornece melhorias aos utilizadores em termos de desempenho, consumo de energia e custos(50).
- *Multi-tenancy*: este ambiente permite que vários utilizadores partilhem dados ou recursos em ambiente de execução, mesmo que eles não pertençam à mesma organização(5). Esta forma é a utilização ideal do hardware e do mecanismo de armazenamento de dados(51).
- Precisão: em ambientes de *cloud computing* a precisão é importante porque os *Service Level Agreement* (SLA) são uma parte intrínseca do sistema, assim sendo, um mau desempenho pode levar a penalizações financeiras e perda de confiança por parte dos utilizadores. Tal consequência pode levar a redução da reputação das empresas, como redução do número de utilizadores interessados, sendo o SLA o único acordo legal entre o provedor de serviço e o utilizador, ao nível da segurança(50).
- *Hypervisor*: o chamado gerenciador de máquina virtual é um módulo chave de virtualização, permite que várias máquinas virtuais sejam executadas em um único *host* de hardware(5). Gerência e monitoriza os vários sistemas operacionais, que funcionam num sistema físico compartilhado(52).
- Autonomia: sendo a dinamização um fator chave devido às intensas e frequentes mudanças, a autonomia é a capacidade de um sistema de auto-gerenciar as suas configurações de modo a manter-se em funcionamento num ambiente dinâmico(50).

- *Cloud network*: pode operar mais de um centro de dados convencional; um centro de dados típico contém centenas ou milhares de servidores(53). Para criar e gerenciar eficientemente os armazenamentos, a *cloud* requer uma infraestrutura de rede segura chamada *cloud networking*. Requer uma conexão com a Internet e similar com uma rede privada virtual que permita ao utilizador aceder com segurança a aplicativos, ficheiros, entre outros(5).
- Abrangência: os ambientes de *cloud computing* abrangem vários tipos de recursos e informações(50).

Com aumento progressivo das capacidades da *cloud* (6), existem três tipos principais de serviços(32)(54)(55)(56):

1. *Cloud Software-as-a-Service* (SaaS). As aplicações funcionam através da *cloud*, em que os utilizadores não necessitam de instalar nenhum *software* (por exemplo, *Salesforce.com*, *Google Docs*, *Online Payroll* e aplicativos pessoais como *Gmail*, *Facebook* e *Twitter*)(32)(57).
2. *Cloud Platform-as-a-Service* (PaaS). Fornece uma plataforma e um conjunto de soluções como um serviço, sendo normalmente para desenvolvimento de aplicações. Tais soluções incluem sistema operacional, banco de dados, *middleware*, servidores de web, entre outros (por exemplo, *Salesforce.com*, *Force platform*, *Microsoft's Azure*, *Google App Engine*(58), *Heroku*(59), *Amazon Relational Database Services*, e *Rackspace*). Este apoio no desenvolvimento de aplicações é complementado com recursos como tolerância ao erro, dimensionamento automático e autoconfiguração(60)(61)(62).
3. *Cloud Infrastructure-as-a-Service* (IaaS). Consiste na entrega remota, através da Internet, de uma completa infraestrutura de computação incluindo máquinas virtuais, servidores e dispositivos de armazenamento (por exemplo, *Amazon EC2*(63) sendo este um exemplo de *cloud* públicas, *Eucalyptus*(64) e *OpenNebula*(65) que são exemplos de *cloud* privadas, conceitos estes que serão referidos posteriormente). IaaS apoia a revolução no investimento de negócios em infraestruturas de IT(66), concentra-se também em áreas de segurança como *firewall*, deteção de intrusão e prevenção (IDS/IPS)(67).

Para além destes 3 modelos podemos acrescentar o *Anything-as-a-Service* (AaaS). Dentro deste modelo podemos encontrar *Monitor-as-a-Service* (MaaS), *Data-as-a-Service* (DaaS), *Communication-as-a-Service* (CaaS), *Security-as-a-Service* (SecaaS), *Routing-as-a-Service* (RaaS)(68).

São inúmeras as vantagens apontadas para estes tipos de serviços sendo de salientar os custos reduzidos, serviços omnipresentes, suporte colaborativo, acesso a recursos computacionais infinitos sob demanda, operações simplificadas e benefícios de comutação esperados(32)-(69). Estas vantagens estão estreitamente relacionadas com os benefícios inerentes à própria *cloud*. De facto, o reduzido custo envolvido na *cloud computing* em comparação com os modelos tradicionais levam a que as pequenas e médias empresas possam usufruir de serviços mais adequados e evoluídos, e as grandes empresas também reduzam custos e aumentem competitividade(42). A opção por este modelo também permite que as organizações que optem por tal se concentrem no negócio principal sem a preocupação de lidar com problemas como infraestruturas, flexibilidade e disponibilidade de recursos(70). Por outro lado, de acordo com uma pesquisa realizada pela *Forrester*, mais de 41% das pessoas nos departamentos de IT acreditam que a eficiência energética e a reciclagem de equipamentos são fatores importantes que precisam de ser considerados para a redução da pegada de carbono (71). Por último a agilidade é sem dúvida o benefício a salientar, pois enquanto no modelo tradicional poderia levar meses a ser implementado um novo serviço, devido à necessidade de estudar orçamentos, selecionar fornecedor de *hardware* e *software*, negociar preços, instalar e testar novos sistemas, em *cloud computing* o serviço é fornecido praticamente de imediato quando contratado.

Apesar das inúmeras e claras vantagens do *cloud computing* é importante perceber que existem também inibidores à utilização deste modelo. O seu conhecimento permite afirmar que, atualmente, a guerra cibernética é, sem dúvida, o desafio mais complexo num ambiente distribuído e multi-arrendatário(5). A Agência Europeia para a Segurança das Informações em Redes enumerou os riscos, recomendações e benefícios para a *cloud computing* (72). Sendo a transferência de dados, num serviço em *cloud*, um dos requisitos de segurança mais importantes(5), importa ter em atenção o relatório de dados de sombra *Elastica* 2015 (73), que foca a exposição mais arriscada e os passos necessários para suavizar esses problemas de segurança. Quase 75% dos executivos de IT e CIOs relatam que a segurança é a sua principal preocupação, seguido do desempenho e confiabilidade(16). Isto justifica uma nova constituição de medidas para tornar o ambiente em *cloud* seguro, privado e isolado na Internet para evitar que os criminosos cibernéticos ataquem a *cloud* (6)-(17). Existem já registo de um aumento de ataques de *Advance Persistence Threat* de 70% (74), 68% de atividades suspeitas e 56% de ataques de força bruta num ambiente em *cloud* em 2015. De facto, a segurança é o tema mais preocupante para 87% dos entrevistados pela *International Data Center* (75)-(76). Algumas organizações empresariais resistem em acreditar completamente nos prestadores de serviços terceirizados. A segurança na *cloud computing* é

gerenciada através da política e do SLA, que é a base da expectativa de serviço entre utilizadores e provedores(77). É a opinião comum de muitos profissionais de IT que a *cloud computing* distribui os dados abertamente a elevado risco(68).

As questões sobre segurança no modelo *cloud computing* têm sido discutidas e estudadas por muitos investigadores. Entre os quais podemos destacar os trabalhos de Fernandes et al., (2014)(75), Subashini e Kavitha (2011)(6), Saripalli e Walters (2010)(78), Liu et al., (2015)(79), Zhaolong et al., (2016)(73) e Zhifeng e Xiao, (2013)(80) em que abordam vários tópicos importantes, como ameaças, vulnerabilidades, proposições de ataques e taxonomia para sua classificação e possíveis soluções.

Apesar de todas as medidas de segurança disponíveis hoje em dia para contra-atacar as muitas questões de segurança, deve-se sempre ter em mente que nenhum sistema é 100% seguro(5).

Este acesso à rede de um conjunto de recursos compartilhados de computação configuráveis no modelo de *cloud computing* evoluiu no sentido da especificidade da sua utilização.

2.2.2 TIPOS DE CLOUD

São quatro tipos *cloud* definidos também pela NIST(48)(5)(42):

- *Cloud* pública. Gerida por provedores que oferecem serviços públicos a qualquer organização que decida contratá-los. Possui a desvantagem de ser menos segura, pelo desconhecimento acerca da localização dos recursos ou de quem os gere(81). Estas exigem investimentos significativos e geralmente são da propriedade de grandes corporações, como a *Microsoft*, *Google* ou *Amazon*.
- *Cloud* privada. Utilizada preferencialmente por empresas de maior poder económico com o objetivo de manter o controlo de dados e infraestruturas. Estas podem ser operadas pela própria empresa ou por um terceiro, podendo levar a organização a ter mais gastos na manutenção, operação e administração, oferecendo maior segurança a um custo superior.
- *Cloud* comunidade. Esta é compartilhada por duas ou mais organizações ou empresas sendo geralmente configurada para os seus requisitos específicos(68). Esta é a que apresenta um menor

risco em termos de segurança comparativamente à *cloud* pública oferecendo um menor custo de utilização do que a *cloud* privada.

- *Cloud* híbridas. Esta configura uma junção de duas ou mais *clouds* com as respetivas vantagens dos diferentes modelos, sendo considerada mais organizada e mais segura que a *cloud* pública.

2.3 O MODELO DE ENSINO NA UNIVERSIDADE DE AVEIRO

Fundada em 1973, a Universidade de Aveiro (UA) como instituição de ensino superior portuguesa tem estado envolvida numa relação interativa com a sociedade. Atualmente ministra cursos de graduação e pós-graduação em diversas áreas, tais como engenharia, ciências humanas, gestão empresarial, educação, comunicação, com a missão de criar e divulgar conhecimento, para benefício das pessoas e da sociedade. A sua premissa assenta na inovação do conhecimento científico e tecnológico através da cooperação regional bem como para além fronteiras.

Em termos regionais, as características industriais de Aveiro, com uma forte implantação de indústrias metalomecânica, automobilística, ciclística e naval impulsionou a fundação do departamento de Engenharia Mecânica em 1994. Este curso de engenharia ajudaria a promover o envolvimento académico no desenvolvimento de atividades industriais da região.

Este forte vínculo com a comunidade levou a que a política de educação do departamento se tenha direcionado para a preparação de estudantes para a vida e carreira profissional através da aquisição de competências abrangentes. Este objetivo está refletido no plano curricular do curso com base na premissa de que são as decisões do quotidiano que nos orientam sobre o que ensinar e como ensinar(9). Estas competências ultrapassam meramente a habilidade de manipular ferramentas, usar materiais e aplicar processos mecânicos, são também a resolução de problemas, o pensamento crítico e as formas ordenadas de trabalhar(10).

Esta “aprendizagem baseada em resolução de problemas” reorienta a educação do domínio do conhecimento dos professores para a autonomia dos estudantes nos processos de aprendizagem através da construção do conhecimento e habilidades. De facto, Hoole e Ratnajeevan (1991)(82) também defenderam que a educação de um engenheiro ocorre em dois lugares: na universidade e na indústria com o pressuposto que as universidades deveriam ensinar as teorias e os princípios da engenharia, sendo os aspetos práticos aprendidos na indústria.

Esta metodologia de ensino também é justificada pelos avanços tecnológicos dos processos industriais e das técnicas de *manufacturing*, que exigem eficácia e rapidez para atender às mudanças das condições de mercado bem como necessidades e desejos dos clientes. A complexidade destas competências aliada à necessidade não menos importante de maximizar a produtividade, reduzir o desperdício e otimizar os ativos físicos e humanos existentes, exigem dos programas de educação, pesquisa e desenvolvimento, uma constante atualização para atender às demandas industriais. Assim, a aquisição de *know-how* e competências para a integração do novo profissional (ex-estudante) no ambiente de trabalho, através do ensino-aprendizagem baseado em projetos ou em problemas faz parte do plano curricular de engenharia mecânica da UA, como objetivos de aprendizagem.

2.3.1 OBJETIVOS DE ENSINO

- Desenvolver o pensamento científico e competências técnicas para resolver problemas de engenharia e *design* industrial.
- Promover capacidades individuais para a análise e interpretação crítica de estudos de caso.
- Desenvolver aptidão para a boa qualidade e rigoroso trabalho de pesquisa científica.
- Desenvolver metodologias de trabalho e atitudes inovadoras e criativas.
- Desenvolver e estimular atitudes cooperativas e responsáveis.

O atingir destes objetivos depende dos programas de educação em engenharia que devem proporcionar aos estudantes uma vasta experiência prática e abrangente em trabalho de equipa e comunicação técnica, bem como a oportunidade de exercer e desenvolver a sua criatividade(11).

O ensino-aprendizagem centrado em projetos para ensinar ferramentas de *computer-aided engineering* para o *design* de produtos, é um exemplo dos conteúdos dos programas de engenharia. Dentro do módulo CAD, são utilizados os *softwares* CATIA e Solidworks, ambos da empresa Dassault Systèmes. Estas aplicações foram as escolhidas devido à sua maior utilização por parte das indústrias da região de Aveiro. Duas das principais disciplinas em que estes *softwares* são aplicados são Conceção e Fabrico Assistidos por Computador (2º ano), e Engenharia e Desenvolvimento de Produto (4º ano). O programa destas duas disciplinas está estruturado para a aquisição de competências técnico-científicas no âmbito da conceção, projeto e produção assistidos por computador. Ambas partilham objetivos similares, sendo os seguintes os mais relevantes:

- Adquirir conceitos e terminologia específica das áreas de CAD/CAM, prototipagem rápida, engenharia inversa e desenvolvimento de produto;
- Desenvolver capacidades de análise crítica objetiva, de inovação e de idealização de novas soluções e aplicá-las nos projetos propostos, nomeadamente na procura de melhores soluções técnicas, ponderando a economia e qualidade da produção, quer ao nível do órgão mecânico, quer ao nível do desenvolvimento de produto;
- Conhecer os métodos técnico-produtivos específicos que estão associados na transferência de um objeto mental (virtual) para um objeto real (físico);
- Conhecer, utilizar e experimentar diferentes materiais no fabrico de modelos e protótipos;
- Adquirir pela simulação e experimentação, com grande rigor e exigência, saberes teóricos e práticos que permitam contribuir para a realização de objetivos económico-sociais sempre presentes em organizações de trabalho;
- Conhecer, utilizar e experimentar diferentes abordagens que permitam transformar o modelo virtual teórico e o modelo físico real;

2.4 CLOUD COMPUTING NA EDUCAÇÃO

Como já referido a *cloud computing* é uma rede de recursos de computação, *hardware* e *software*, que podem ser partilhados para fornecer à educação uma variedade de opções que não estão

presentes no modelo tradicional. Este modelo proporciona respostas a muitos desafios que as instituições educacionais enfrentam atualmente. Uma equilibrada gestão do sistema, dos custos e segurança e consequentemente melhoramento da qualidade de serviço é o resultado da integração entre *software* e ativos das empresas com os serviços de *cloud* (42).

Diversas instituições educacionais atualmente, ponderam a utilização deste modelo para alguns aplicativos de *software*, como por exemplo *Enterprise Resource Planning*, sistemas de gestão de bases de dados ou CAD. Esta utilização do modelo reduzirá a dependência do modelo tradicional, facilitando ao mesmo tempo o acesso a recursos específicos de *software* não disponíveis dentro da organização.

O uso de *cloud computing* por parte de instituições educacionais é facilitador do trabalho administrativo (por exemplo, registo de alunos, folha de pagamento de funcionários) e das atividades educacionais e de investigação. O *cloud computing* permite libertar o encargo sobre a manutenção e de gestão dos sistemas de *software*, de forma que as instituições educacionais se possam concentrar mais nas atividades nobres da sua função. Isto também permite que as instituições possam reduzir consideravelmente as despesas em licenciamento de *software*. As instituições que não consigam aceder a *software* educacional de alta tecnologia podem usufruir do mesmo através dos institutos circunvizinhos, que conduzirá não só a uma melhor utilização de recursos como também a uma redução financeira, como de recursos humanos(21).

Muitas universidades implementam *cloud computing* para permitir que os estudantes acessem de qualquer lugar e a qualquer hora (19) (18) (20), existindo já *software* desenvolvido sobre uma metodologia pedagógica para auxiliar a promoção do ensino e aprendizagem virtual ou semi-presencial, tal como o *Learning Management Systems* (LMS)(83). No entanto, são considerados mais amigáveis os serviços de *cloud* do que os serviços LMS, apresentando os serviços de *cloud* níveis mais altos de perceção de utilidade do que as ferramentas padrão de gestão de aprendizagem(20). O ambiente de aprendizagem de *cloud computing* pode efetivamente facilitar as habilidades de reflexão do aluno e aumentar a sua motivação, compreensão e desempenho de aprendizagem(18). Sabendo que a computação melhora tanto o ensino como o sucesso do aluno, a alfabetização informática deve ser ensinada o mais precocemente possível de modo a não impedir um eficaz progresso académico. O apoio por parte da comunidade empresarial em relação aos programas tecnológicos é essencial nos dias de hoje devido à redução de fundos disponíveis para as instituições, sendo a aprendizagem de competências informáticas a força de trabalho do ‘amanhã’ num mundo cada vez mais *high-tech*. Estas conexões transmitem uma noção do mundo

real e ampliam horizontes da comunidade educacional(21), estreitando as ligações entre estudantes, professores, instituições e profissionais em todo o mundo.

De entre os fatores mais importantes para a utilização deste sistema podemos destacar (83):

- Motivação dos estudantes
- Self-Efficacy
- Service quality
- Cloud service.

De referir os seus inúmeros benefícios como, a facilidade de implementação, robustez e rapidez na comunicação aliado à capacidade de identificação institucional (ID de e-mail com o nome da escola/faculdade/universidade como sufixo) com a possibilidade de uma colaboração global (serviços em que os alunos possam trabalhar em simultâneo no mesmo documento). Em termos de segurança, esta é da responsabilidade do fornecedor de serviços (A *Google Apps* possui um regulamento de privacidade em conformidade com a Lei de Privacidade e Direitos Educacionais da Família). Importa ainda salientar que em termos de “Pegada de carbono”, pesquisas sugerem que as Tecnologias da Informação e da Comunicação (TIC) são responsáveis por 2% das emissões globais de carbono, com previsões para um aumento(84). No Reino Unido, por exemplo, existem regulamentos cada vez mais rigorosos (como o Compromisso de Redução de Carbono e a Diretiva EU *Energy Using Products*) que tendem a pressionar os estabelecimentos de ensino para tornar as TIC mais sustentáveis(85). Num ambiente em que existe uma crescente preocupação com o impacto ambiental e os custos de energia das instituições, os serviços virtualizados podem se tornar especialmente atraentes(86).

Ainda assim, alguns analistas contestam o anelar de ‘novo paradigma’ à *cloud computing*, argumentando que essa ideia depende maioritariamente das tecnologias e abordagens existentes, como computação utilitária, computação distribuída e bases de dados centralizadas. De acordo com esta visão a única inovação da *cloud computing* é a combinação e integração dessas abordagens(87).

3 METODOLOGIA DE ESTUDO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS APLICAÇÕES INFORMÁTICAS UTILIZADAS

3.1.1 CATIA

Desenvolvida pela companhia francesa *Dassault Systèmes*, o *software CATIA (computer aided three-dimensional interactive application)* é uma multiplataforma de *software*, que começou como um desenvolvimento interno em 1977, por um fabricante de aeronaves francesas, *Avions Marcel Dassault*, para desenvolver o avião de combate *Mirage* da *Dassault*(88). Mais tarde foi adotada nas indústrias aeroespacial, automóvel, naval, entre outras. Inicialmente denominada CATI (*interactive aided three-dimensional design* ou mais corretamente *Conception assiste tridimensionnelle interactive* em francês), sendo posteriormente, em 1981 renomeada *CATIA* quando *Dassault* criou uma filiar para desenvolver e vender o *software*, assinando ainda um acordo de distribuição não exclusivo com a *IBM*(89)(88). É importante salientar a escolha do *software CATIA* por parte da *Boeing* em 1986, pela *Chrysler*, em 1989 para a construção do *design* dos seus *Jeep's* e em 1990 a *General Dynamics Electric Boat* para a projeção da classe de submarinos da *U.S. Navy's* (90). A

versão V5, uma versão totalmente reescrita do *software* CATIA com suporte para *UNIX*, *Windows NT* e *Windows XP* foi lançada em 1998 (91), e em 2008 foi lançado CATIA V6 (92), com suporte para *Microsoft Windows*, *Linux* ou *AIX*(93).

O *software* CATIA é correntemente referido como um pacote de *software* 3D PLM, que suporta múltiplos estádios de desenvolvimento de produto (CAx), tais como CAD, CAE, CAM e conceptualização, sendo por isso considerado como um conjunto de aplicações e serviços que permite às empresas desenvolver *design*, construir e manter produtos, reduzindo custos, aumentando a qualidade com redução dos ciclos de desenvolvimento(94). Conciliando todos os atributos referidos ainda facilita a engenharia colaborativa em todas as disciplinas em torno da sua plataforma *3DEXPERIENCE*, incluindo *surfacing & shape design*, *electrical*, *fluid* e *electronic systems design*, engenharia mecânica, engenharia de sistemas e engenharia inversa(95). Dentro da engenharia mecânica podemos destacar a possibilidade de aplicar tolerâncias funcionais e definições cinemáticas(95), bem como uma ampla gama de aplicações para a conceção de ferramentas, tanto genéricas como *mold & die*.

Neste trabalho é analisado o *software* CATIA V5, sendo possível observar na figura 1 uma das interfaces da aplicação.

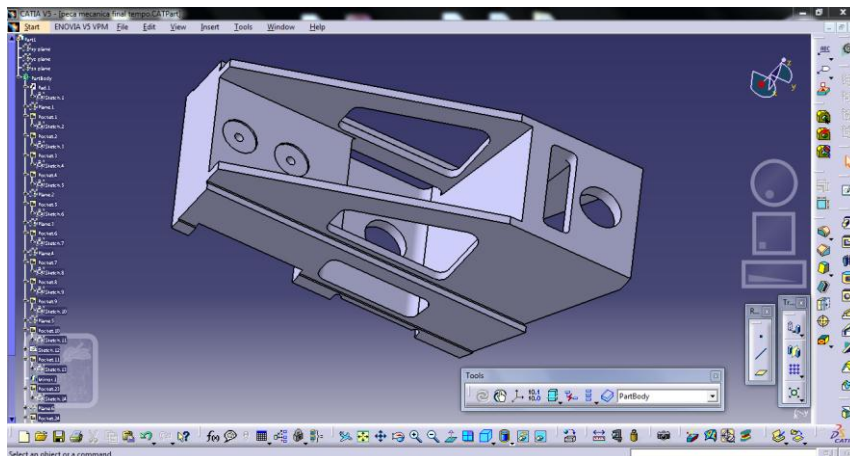


Figura 1- Uma interface do *software* CATIA V5

3.1.2 SOLIDWORKS

Jon Hirschtick, em 1993, recrutou uma equipa de engenheiros com o intuito de criar um *software* CAD 3D mais acessível, tendo lançado oficialmente em 1995 o produto desenvolvido e denominado por *Solidworks*(96). Foi assim criado o primeiro *software* CAD 3D compatível com o *Windows* sem necessidade de *hardware* e *software* caro para operar, tendo sido adquirido posteriormente pela *Dassault Systèmes S.A.* em 1997 (96). Atualmente, *DS Solidworks* oferece um conjunto de ferramentas para criar, simular, publicar e gerir dados, maximizando a inovação e produtividade dos recursos de engenharia(96). Estas soluções funcionam para permitir que as organizações desenvolvam produtos de forma eficaz e com melhor custo-benefício(96). Este *software* também pode ser referido como um pacote de *software* PLM suportando múltiplos estádios de desenvolvimento de produto (CAx), tais como CAD, CAE, CAM e conceptualização, partilhando ainda a plataforma *3DEXPERIENCE*(97)(98).

Neste trabalho é analisado o *software Solidworks student version 2016-2017*, sendo possível observar na figura 2 uma das interfaces da aplicação.

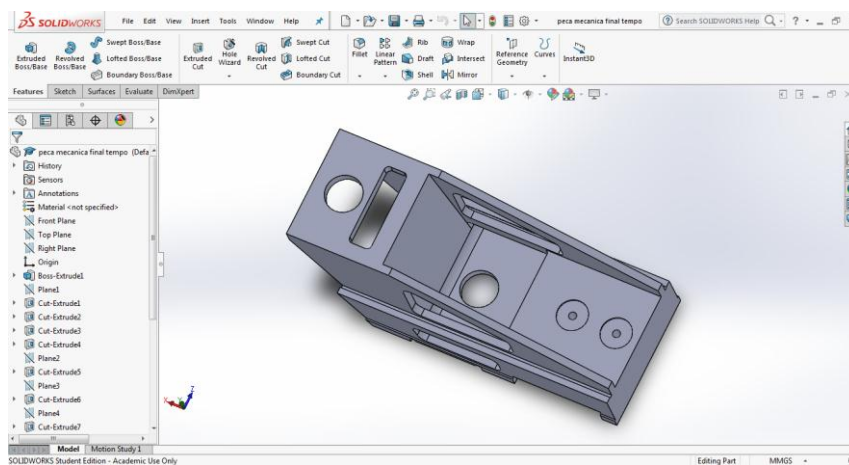


Figura 2- Uma interface do software Solidworks student version 2016-2017

3.1.3 SOLID EDGE

Desenvolvido e lançado pela *Intergraph* em 1996, foi posteriormente comprado e desenvolvido pela empresa UGS em 1998 (99). Esta, em 2007 foi adquirida pela *Automation & Drives Division of Siemens AG*, renomeando a empresa UGS para *Siemens PLM Software* em outubro de 2007 (99).

Solid Edge é um portfólio de ferramentas de *software* acessíveis e fáceis de usar que abordam todos os aspectos do processo de desenvolvimento de produtos, tais como *design 3D*, simulação, *manufacturing*, gestão de dados, entre outros, com um crescente ecossistema de aplicações(100). Uma das características principais deste *software* é a capacidade de modelação em ambiente *ordered (history based)* e em ambiente *synchronous*, o que proporciona uma combinação de velocidade e simplicidade da modelação direta com flexibilidade e controlo sobre o projeto paramétrico(100). Estas características são únicas deste *software* comparativamente aos restantes em estudo. O processo de modelação *ordered* permite editar o objeto, selecionando qualquer etapa usada para o desenvolvimento do mesmo(101). Enquanto que no processo de modelação *synchronous* o objeto é definido por um conjunto de ‘faces’ em que as relações paramétricas podem ser aplicadas direta e automaticamente aos recursos sólidos sem depender da geometria do esboço 2D.

Neste trabalho é analisado o *software Solid Edge ST6*, sendo possível observar na figura 3 uma das interfaces da aplicação.

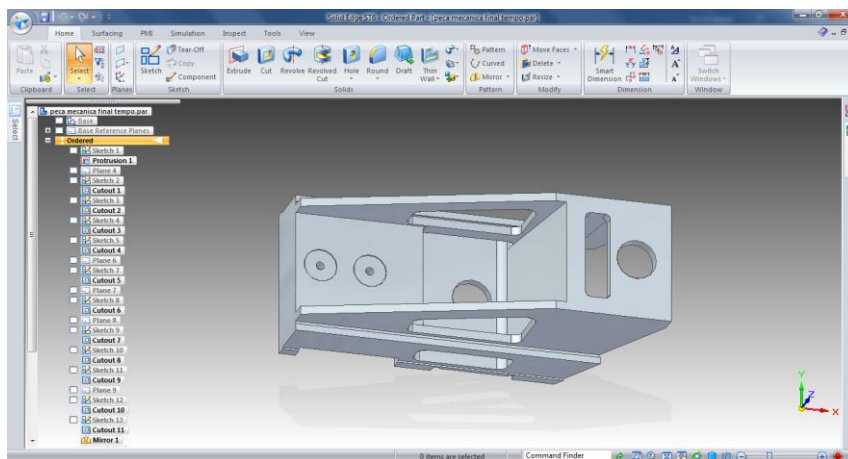


Figura 3- Uma interface do software Solid Edge ST6

3.1.4 FUSION 360

A Autodesk, em 2013, lançou o *software Fusion 360* como sendo a primeira ferramenta 3D CAD, CAM e CAE na *cloud* (102). Este conecta todo o seu processo de desenvolvimento de produto numa única plataforma baseada em *cloud* que funciona tanto em *Mac* como em *PC*, sendo por isso possível aceder a qualquer momento e em qualquer lugar à informação necessária(102)(103). O *software Fusion 360* combina *design* industrial e mecânico, simulação, colaboração e *manufacturing* num único pacote, permitindo uma exploração rápida e fácil de ideias de *design* com um conjunto integrado de ferramentas *concept-to-production* (102).

Neste trabalho é analisado o *software Fusion 360 student version*, sendo possível observar na figura 4 uma das interfaces da aplicação.

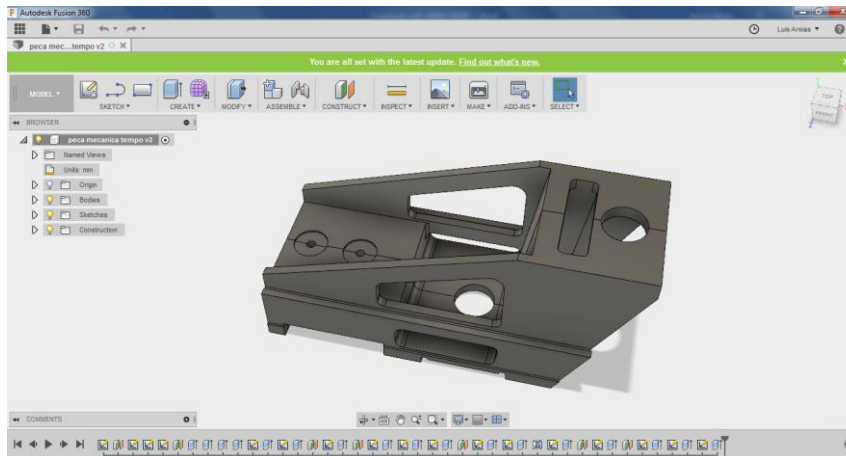


Figura 4- Uma interface do *software Fusion 360 student version*

3.1.5 ONSHAPE

Onshape foi fundado em 2012, por uma equipa que contava com vários engenheiros e executivos que trabalharam no desenvolvimento da aplicação *Solidworks*, sendo considerado o primeiro e único sistema *full-cloud* 3D CAD que permite trabalhar através de qualquer *web browser* (no *PC*, *Mac*, *Linux*, e *Chromebook*), telemóvel ou tablet (*Apple iOS* e *Android*)(104)(105). Apenas em dezembro de 2015 foi lançada a versão comercial completa(106). Este é o único sistema CAD em

que os dados são guardados de forma automática num único local na *cloud*, não existindo problemas de dessincronização(107). Fornece também de forma exclusiva uma edição simultânea e uma “*real-time single source of truth*” (107). É principalmente focada no CAD mecânico, sendo usada para *design* de produto e maquinaria em muitas indústrias, incluindo, eletrônica, maquinaria mecânica, dispositivos médicos, impressão 3D, peças para maquinaria e equipamento industrial(108). Foi ainda lançado a *Onshape App Store*, oferecendo CAM, simulação, *rendering*, entre outras ferramentas baseadas na *cloud*. Em abril de 2016 foi lançada uma versão gratuita voltada para estudantes universitários e educadores(109).

Neste trabalho é analisado o *software Onshape student version*, sendo possível observar na figura 5 uma das interfaces da aplicação.

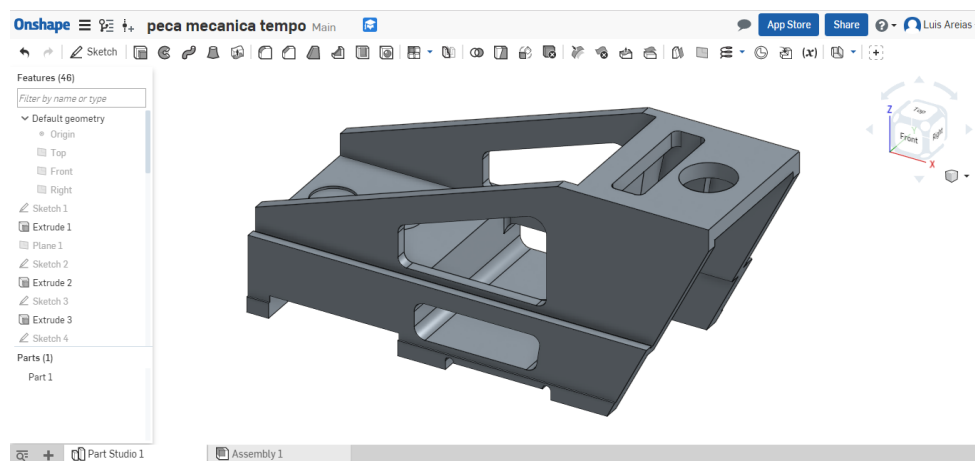


Figura 5- Uma interface do software Onshape student version

3.2 ANÁLISE DOS SOFTWARES

A análise dos *softwares* foi realizada tendo em consideração o cumprimento de pressupostos avaliados através da aplicação de questões genéricas e de interface (funcionalidades e tipo e qualidade de importação e exportação), assim como a análise das etapas necessárias para o objetivo final.

Em relação às questões genéricas e de funcionalidade, as de maior relevância são as relativas à existência de 2D, *assembly*, *rendering* e *toolbox*. Podemos referir também questões relacionadas

com a existência de CAM e CAE, bem como o tipo e qualidade de importação e exportação dos ficheiros criados. Para a análise da qualidade do tipo de importação e exportação recorremos a 3 formatos, IGS, STP e STL. Procurou-se também perceber a duração da licença free dos *softwares* em *cloud*, pois este parâmetro é dos mais importantes para a sustentabilidade da utilização destes *softwares* por parte de estudantes.

Relativamente à análise das etapas, foi realizado um estudo inicial de quatro das principais ferramentas de modelação dos *softwares*, como sendo: *extrude*, *revolve*, *sweep* e *loft*. Através destas procurou-se compreender que tipo de *sketch* os diferentes *softwares* aceitam para as diferentes ferramentas, no modo sólido e no modo superfície.

Na modelação de peças orgânicas e peças prismáticas, considerada outra etapa, procurou-se perceber o tempo de modelação, o número de operações, o número de erros detetados para cada peça em cada *software*, quer no modo sólido, quer no modo superfície.

Na etapa referente ao estudo sobre o *assembly*, pretendeu-se determinar a sua operacionalização assim como a possibilidade de importação e exportação dos *assemblies* desenvolvidos em cada um dos *softwares*, mantendo as *constraints* aplicadas. Foi também importante perceber a possibilidade de importar e exportar *parts* que compõem os *assemblies*, assim como a conceção dos *assemblies* com as diferentes *parts* importadas.

Em relação ao *rendering* utilizou-se a chávena, o pires e a peça mecânica, bem como o *assembly* da chávena com o pires com a intenção de perceber a qualidade do *rendering*, aplicado com os parâmetros *standart*, dos *softwares*.

Para o estudo do levantamento de forma, como última etapa, utilizaram-se duas peças (de um punho e de um rato), com o objetivo de perceber se os *softwares* permitem abrir os ficheiros extraídos da análise das peças em questão por um *scanner* 3D. Posteriormente procurou-se perceber a possibilidade de recriar uma superfície com esses mesmos ficheiros.

3.3 ESTUDO DAS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

3.3.1 CRIAÇÃO DE SKETCH E APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

No início do estudo começou-se por determinar que tipo de *sketch* cada *software* aceita. Assim foram criados quatro modelos distintos de *sketch*, começando pelo mais rudimentar com todos os contornos utilizados na sua definição geométrica (sem fronteiras limitadas), terminando no mais modificado, que apresenta somente os contornos envolventes (fronteiras limitadas). A figura 6 apresenta os desenhos de definição dos diferentes *sketches* que se pretendeu testar nesta etapa.

Como a formação do *sketch* influencia a maneira como os *sketches* são ou não aceites pelos *softwares*, importa referir que o *sketch* mais rudimentar é composto por dois retângulos, o que implica uma sobreposição de dois segmentos de reta de diferentes tamanhos, existindo ainda dois arcos de 180° e uma circunferência.

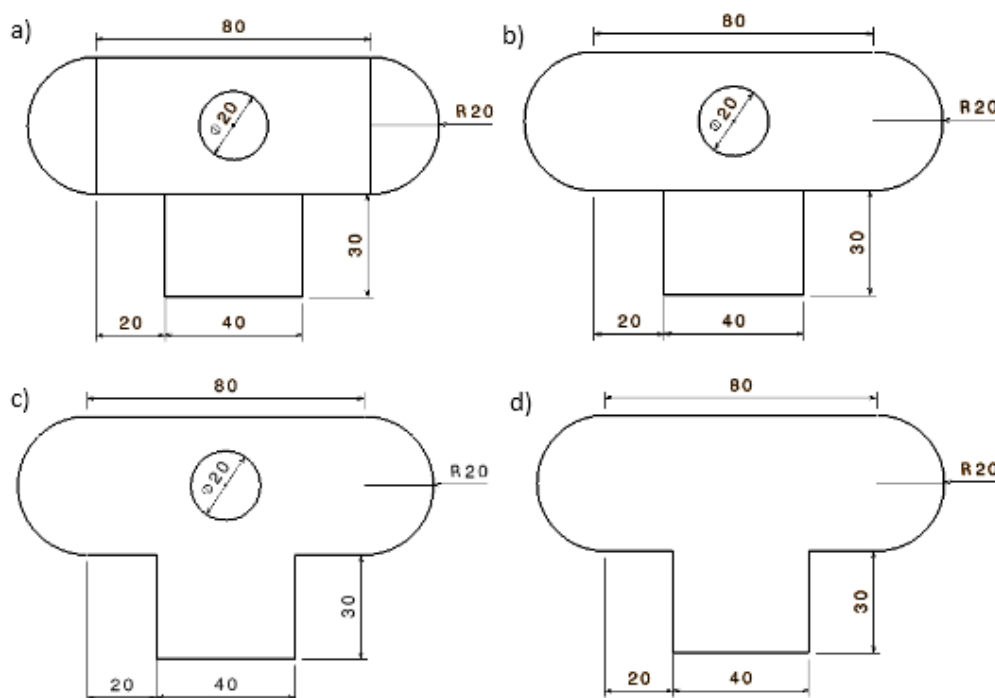


Figura 6- Quatro sketches a testar (do mais rudimentar (a)) ao mais modificado (d))

3.3.2 ESTUDO COMPARATIVO DA MODELAÇÃO DE PEÇAS ORGÂNICAS E DE PEÇAS PRISMÁTICAS

De modo a compreender melhor as diferenças entre os *softwares*, permitindo testar o máximo de recursos disponíveis, foram selecionadas duas peças distintas, uma com elementos geométricos regulares e prismáticos (peça mecânica) e a outra com contornos mais orgânicos (chávena e pires). Em ambas as peças foram utilizadas duas abordagens de modelação, a modelação por sólidos e a modelação por superfícies. No final foi efetuado um estudo comparativo do número de operações e complexidade exigida pela modelação para cada um dos *softwares*.

A seleção de uma peça mecânica vs peça orgânica, está relacionado com o objetivo de criar dois produtos finais distintos em associação com a utilização do máximo possível de diferentes ferramentas. A complementaridade das peças orgânicas (chávena (figura 7) e um pires (figura 9)) justificou esta seleção.

Para a aquisição do produto final da chávena foram utilizadas as ferramentas: *loft* com 13 *sketches* para a estrutura da chávena; *sweep* para a pega e *revolve* para o fundo da chávena; *fillets* na ligação da pega com a chávena e nas partes superior e inferior da mesma.

Na figura 8 podemos observar o esquema da chávena com as cotas principais para a sua modelação, em que se pode observar que se apresenta a verde a pega, a vermelho a estrutura da chávena, a cor de laranja o fundo da chávena e a azul as zonas onde foi aplicado a ferramenta *fillet*.



Figura 7- Chávena

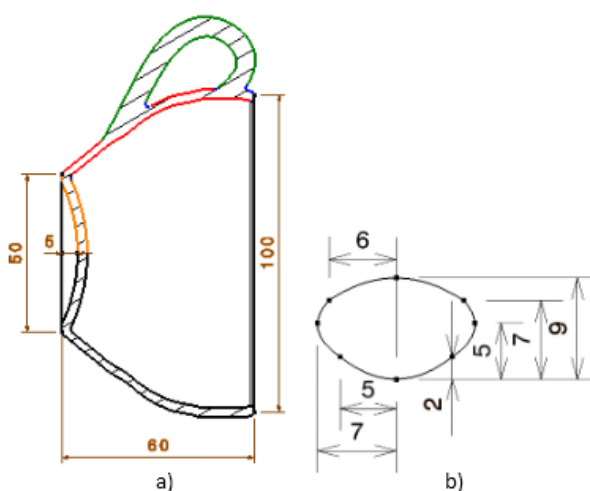


Figura 8- Esquema da chávena; a) perfil da chávena; b) seção da pega

Para o pires foi apenas usado o *revolve*, aplicando também *fillets* em algumas partes da peça. Na figura 10 podemos observar o esquema do pires com as cotas principais para a sua modelação, em que se pode observar partes a azul na parte esquerda da figura que representam as zonas em que foi aplicado a ferramenta *fillet*.



Figura 9- Pires

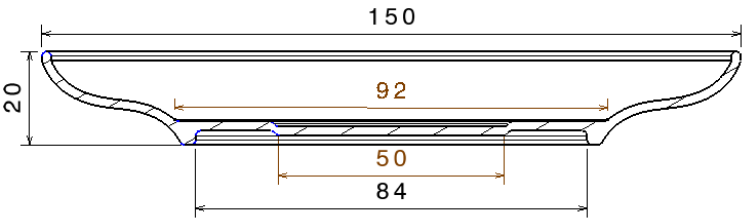


Figura 10- Esquema do pires

As ferramentas utilizadas em cada *software*, no modo sólido e no modo superfície, para as peças orgânicas estão apresentadas nas tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1- Ferramentas utilizadas na modelação da chávena no modo sólido

ferramentas softwares	CHAVENA (sólido)						
	SKETCH	PLANO	REVOLVE	LOFT	SWEEP	FILLET	LOFT CUT
CATIA							
SOLIDWORKS							
SOLID EDGE							
FUSION 360							
ONSHAPE							

Tabela 2- Ferramentas utilizadas na modelação da chávena no modo superfície













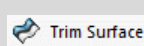
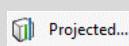













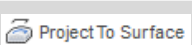






CHAVENA (superfície)								
ferramentas softwares	SKETCH	PLANO	REVOLVE	LOFT	SWEEP	FILLET	SPLIT/TRIM	PROJECTION
CATIA						X		
SOLIDWORKS						X		
SOLID EDGE						X		
FUSION 360						X		
ONSHAPE						X		X

Tabela 3- Ferramentas utilizadas na modelação do pires no modo sólido






























Pires (sólido)			
ferramentas softwares	SKETCH	REVOLVE	FILLET
CATIA			
SOLIDWORKS			
SOLID EDGE			
FUSION 360			
ONSHAPE			

Tabela 4- Ferramentas utilizadas na modelação do pires no modo superfície

Pires (superfície)			
ferramentas softwares	SKETCH	REVOLVE	FILLET
CATIA			X
SOLIDWORKS			
SOLID EDGE			
FUSION 360			
ONSHAPE			

Em relação à modelação da chávina e pires, no modo superfície (tabelas 2 e 4), a ferramenta *fillet* encontra-se bloqueada na aplicação *CATIA*. Nos restantes *softwares*, apesar da acessibilidade, a mesma não é possível de ser aplicada na medida em que não permite seleccionar as arestas necessárias na chávina em oposição à sua possibilidade no pires.

A simbologia das ferramentas usadas no *software Onshape* (tabelas 1, 2, 3 e 4) é idêntica no modo sólido e no modo superfície, pois este *software* só apresenta uma interface para a utilização dos dois modos. Esta repetição de simbologia foi igualmente observada no *software Fusion 360*, em que se constatou que na chávina em modo sólido os símbolos do *loft* e do *loft cut* são iguais.

É ainda importante referir que a modelação da chávina, no modo superfície, no *software Onshape* foi executada de modo diferente em comparação com os restantes *softwares*, devido à incapacidade de aplicar o *sweep* com mais de um '*sketch to sweep*'.

Em relação há peça mecânica (figura 11), foi seleccionada uma peça com algum grau de complexidade e de estrutura diferente das peças orgânicas de modo a testar o máximo de ferramentas diferentes.



Figura 11- Foto real da peça mecânica e Perspetiva isométrica

A modelação da peça mecânica foi alcançada com a utilização predominante das ferramentas *extrude* e *pocket* no modo sólido, enquanto que no modo superfície foi mais utilizado as ferramentas *extrude*, *fill* e *split/trim*. É ainda importante realçar que foram utilizados planos desnecessários para algumas operações. Isto ocorreu na modelação da peça mecânica em que a utilização destes planos foi intuitiva. No anexo I podemos observar o desenho de definição da peça mecânica com as cotas principais para a sua modelação.

As ferramentas utilizadas em cada *software*, no modo sólido e no modo superfície, para a peça mecânica estão enunciadas nas tabelas 5 e 6.

Tabela 5- Ferramentas utilizadas na modelação da peça mecânica no modo sólido


































































ferramentas softwares	Peça Mecânica (sólido)				
	SKETCH	PLANO	EXTRUDE	EXTRUDE CUT	MIRROR
CATIA					
SOLIDWORKS					
SOLID EDGE					
FUSION 360					
ONSHAPE					

Tabela 6- Ferramentas utilizadas na modelação da peça mecânica no modo superfície

ferramentas softwares	Peça Mecânica (superfície)							
	SKETCH	PLANO	EXTRUDE	FILL	MIRROR	SPLIT/TRIM	BLEND	REVOLVE
CATIA								
SOLIDWORKS								
SOLID EDGE								
FUSION 360								
ONSHAPE								

Na peça mecânica observou-se uma repetição de simbologia nos *softwares* *Fusion 360* e *Onshape*.

Em relação ao *software* *Onshape*, no modo superfície, o *software* não dispõe de ferramentas iguais ou similares ao *fill* ou às usadas na secção *BLEND*, o que provocou a utilização de um processo alternativo para a criação da peça.

3.3.3 ANÁLISE DA FERRAMENTA DE MONTAGEM (ASSEMBLY)

Nesta etapa foi realizada uma análise sobre as ferramentas de *assembly*, tendo-se optado por uma combinação de peças relativamente simples, na medida em que se pretendeu perceber a aplicabilidade dos constrangimentos (*constraints*) nos diferentes *softwares*.

Na figura 12 apresenta-se o *assembly*, composto por uma base, representada em 3D e desenho de definição na figura 13. A peça1, que se acopla na base, é representada em 3D e desenho de definição na figura 14. Na figura 15 temos a peça2, que se acopla na peça1 e representada em 3D com desenho de definição.

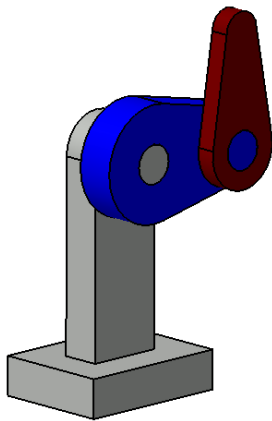


Figura 12- Assembly

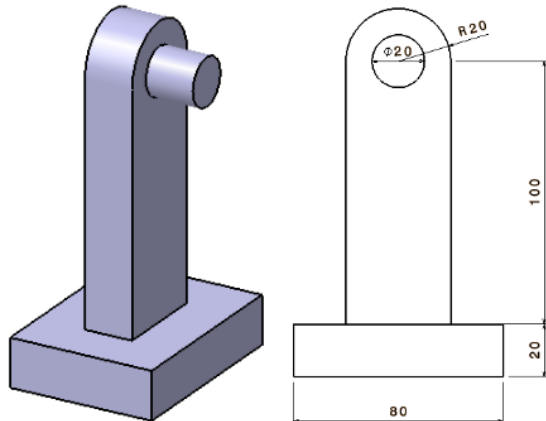


Figura 13- Base representada na figura 11 a cinzento

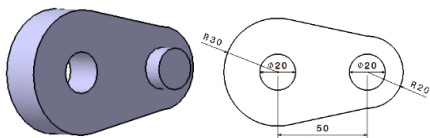


Figura 14- Peça1 representada na figura 11 a azul

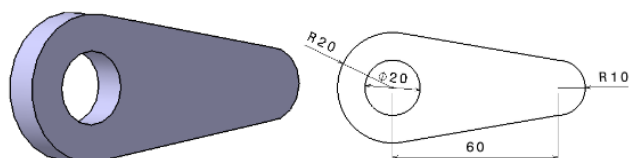


Figura 15- Peça2 representada na figura 11 a cor de tijolo

3.3.4 ANÁLISE DA FERRAMENTA DE FOTO REALISMO (RENDERING)

Nesta etapa foi realizada uma análise do *rendering* nos diferentes softwares, aplicado no *assembly* da chávena com o pires (figura 16), na peça mecânica assim como na chávena e no pires. Optou-se por evidenciar os resultados do *rendering* no *assembly* da chávena com o pires, pois torna-se mais facilmente perceptível as diferenças da aplicação do *rendering* nos diferentes *softwares*.



Figura 16- *Assembly* da chávena com o pires

3.3.5 ESTUDO DO LEVANTAMENTO DE FORMA

Para o estudo do levantamento de forma foram seleccionadas duas peças com características geométricas distintas, um punho e um rato de computador. Utilizou-se para o efeito uma digitalização ativa sem contacto através de um *scanner* 3D de varrimento por laser (Roland LPX 250). Através da aplicação *Dr. Picza 3* da *Roland DG Incorporation* o varrimento dos objetos foi executado automaticamente, do qual foram extraídos um ficheiro STL, representativo do modelo através de uma malha de triângulos e um outro ficheiro em formato txt, representativo do modelo através da sua nuvem de pontos. Foram executados quatro varrimentos, dois para cada peça, com duas resoluções diferentes em que a análise realizada focou dois tipos distintos de ficheiros, STL e txt, (figura 17).

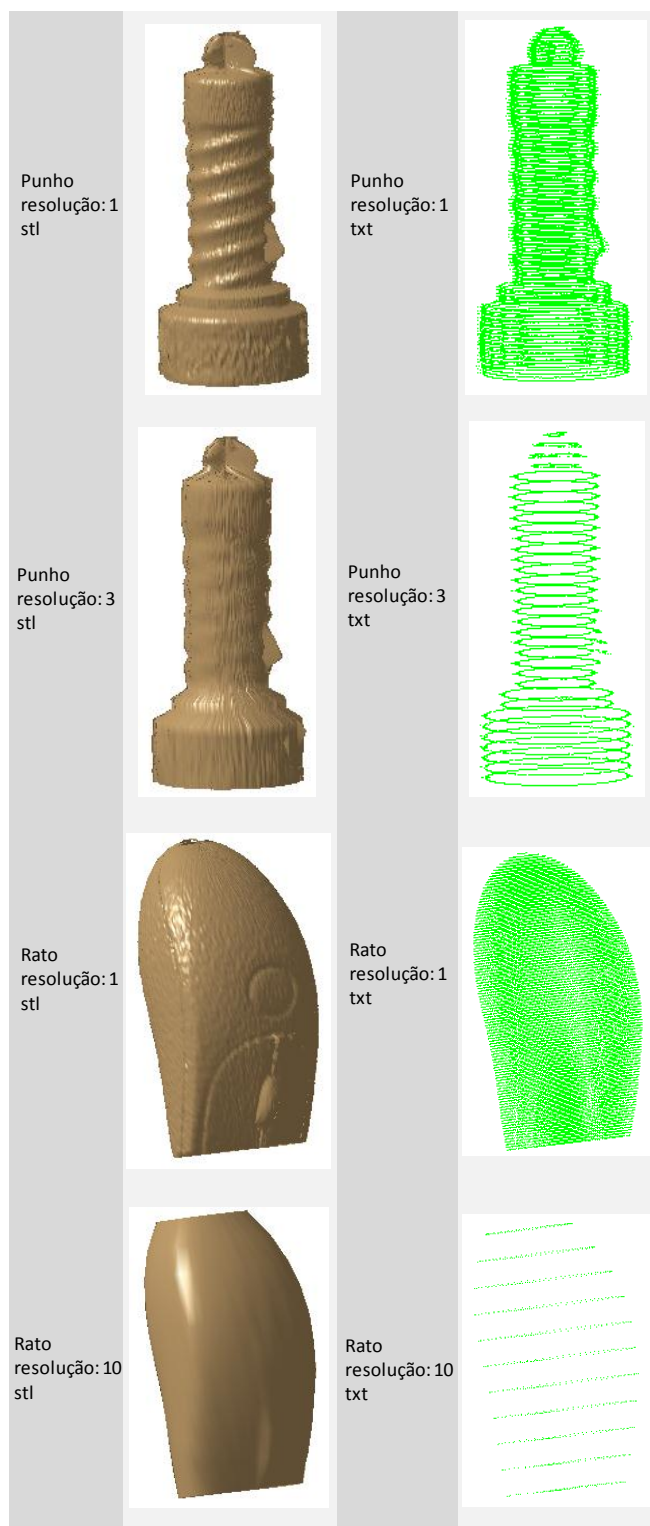


Figura 17- Demonstração dos ficheiros retirados do scanner 3D

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 FUNCIONALIDADES DISPONIBILIZADAS PELOS SOFTWARES

As funcionalidades disponibilizadas pelos softwares utilizados no estudo estão apresentadas na tabela 7, sendo de salientar que as aplicações *Solidworks* e *Fusion 360* apresentam todas as características em estudo enquanto a aplicação *Onshape* possui apenas duas.

Tabela 7- Resultados das funcionalidades dos softwares

questões softwares	2D	ASSEMBLY	RENDERING	CAM	CAE		TOOLBOX
					CALCULO ESTRUTURAL	CFD	
CATIA	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓
SOLIDWORKS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SOLID EDGE	✓	✓	✓	x	✓	x	✓
FUSION 360	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ONSHAPE	✓	✓	x	x	x	x	x

No *software Solid Edge*, o *rendering* é só possível aplicar na interface *assembly*.

De referir que na aplicação *Solid Edge*, no caso do CAM (Computer Aided Manufacturing) e no CFD (Computational Fluid Dynamics), a ferramenta aparece no *software*, mas encontra-se bloqueada, o que sugere que não se encontra disponível para esta versão.

No caso da aplicação *Onshape* todas as ferramentas que não se apresentam no *software*, estão disponíveis na *App Store* do *software* sendo conhecidas como a primeira “*try and buy*” *app store* para o universo CAD(110).

Relativamente aos tipos de importação e exportação associadas a cada *software* (anexo II) importa referir que o *software Solidworks* aparenta ser o que mais formatos disponibiliza, enquanto os *softwares Onshape* e *Fusion 360* disponibilizam poucos formatos para exportação.

Em relação à durabilidade das licenças dos *softwares* em *cloud*, os *softwares Fusion 360* e *Onshape* disponibilizam uma utilização livre para um período de 3 anos(111) e 1 ano(112) respetivamente. Enquanto o *software Fusion 360* não funciona a 100% na *cloud*, necessitando de 2.85G de espaço em disco para a sua instalação, já o *software Onshape* é *full cloud* (107).

4.1.1 FORMATAÇÃO DE FICHEIROS

Na tabela 8 encontram-se os resultados de importação e exportação de ficheiros em diferentes formatos com referência ao *software* para onde os ficheiros foram importados (primeira coluna) e o *software* de onde os ficheiros foram exportados (segunda coluna). Os resultados expressos na tabela 8 foram obtidos através da importação e exportação do ficheiro de modelação da peça mecânica no modo superfície. Salienta-se a exceção do *software Solid Edge* onde se utilizou a mesma peça em modo sólido devido à incapacidade de alcançar a exportação das peças no modo superfície.

Tabela 8- Resultados da importação e exportação de ficheiros nos formatos IGS, STP e STL

softwares		questões			ABRE?		
		Import	Export	IGS	STP	STL	
CATIA	SOLIDWORKS			✓	✓	✓	
	SOLID EDGE			✓	✓	✓	
	FUSION 360			✗	✓	✓	
	ONSHAPE			✗	✓	✓	
SOLIDWORKS	CATIA			✓	✓	✓	
	SOLID EDGE			✓	✓	✓	
	FUSION 360			✓	✓	✓	
	ONSHAPE			✓	✓	✓	
SOLID EDGE	CATIA			✓	✓	✓	
	SOLIDWORKS			✓	✓	✓	
	FUSION 360			✓	✓	✓	
	ONSHAPE			✓	✓	✓	
FUSION 360	CATIA			✓	✓	✓	
	SOLIDWORKS			✓	✓	✓	
	SOLID EDGE			✓	✓	✓	
	ONSHAPE			✓	✓	✓	
ONSHAPE	CATIA			✓	✓	✓	
	SOLIDWORKS			✓	✓	✓	
	SOLID EDGE			✓	✓	✓	
	FUSION 360			✓	✓	✓	

✓ - converteu para solido, ✓ - abriu com muitos erros, ✓ - a importação só é feita se permitir falhas,

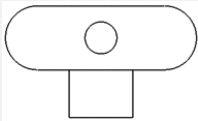
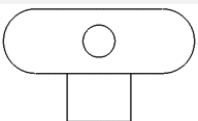
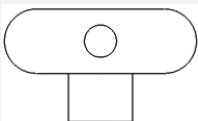
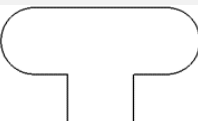
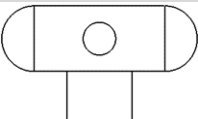
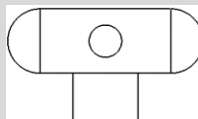
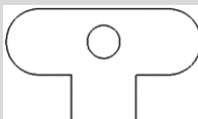
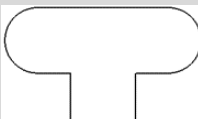
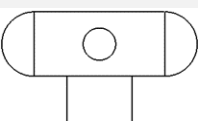
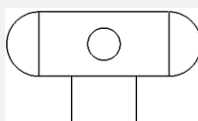
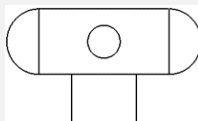
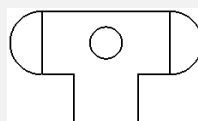
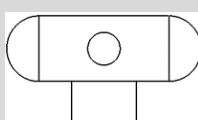
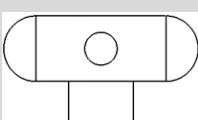
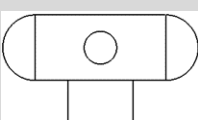
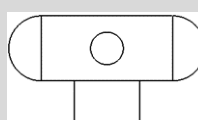
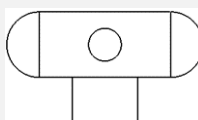
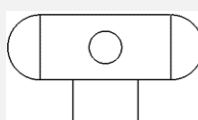
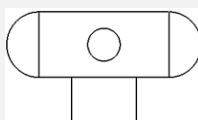
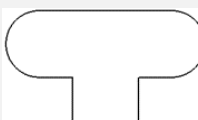
✓ - abriu com dois anéis extra, ✓ - converteu para superfície

A precisão do *software Onshape* evidencia-se comparativamente aos restantes nos formatos IGS e STP. Os *softwares Solid Edge* e o *Fusion 360* têm resultados semelhantes para o formato STL. O *software Onshape* é o único em que os ficheiros exportados do mesmo não são possíveis de importar sem erros nos restantes *softwares*.

4.2 ANÁLISE DAS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

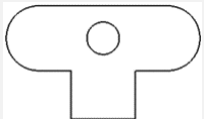
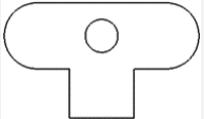
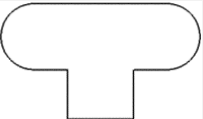
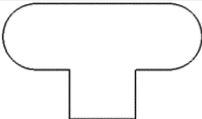
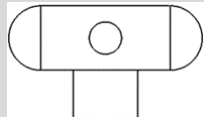
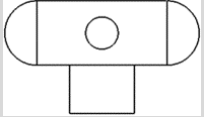
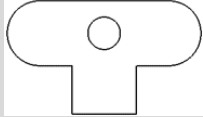
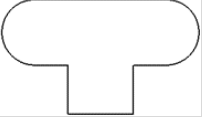
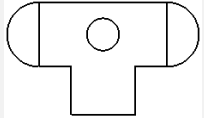
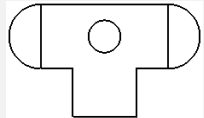
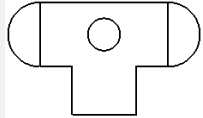
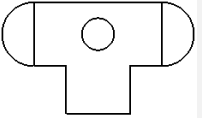
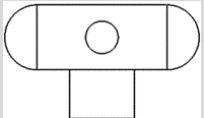
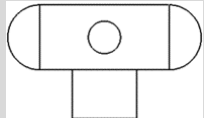
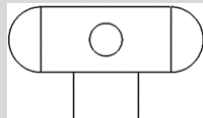
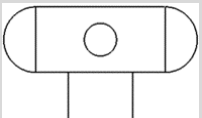
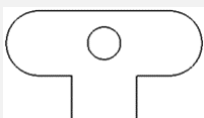
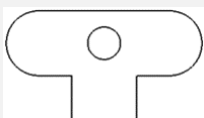
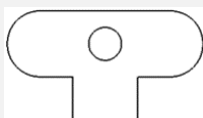

Em relação aos resultados obtidos para as quatro das principais ferramentas de modelação, apresenta-se nas tabelas 9 e 10 os *sketches* seleccionados, para o modo sólido e superfície respetivamente.

Tabela 9- Resultados dos sketches seleccionados no modo sólido

ferramentas softwares	sólido			
	EXTRUDE	REVOLVE	SWEEP	LOFT
CATIA				
SOLIDWORKS				
SOLID EDGE				
FUSION 360				
ONSHAPE				

De salientar que o *software Fusion 360* é o único que aceita o *sketch* mais rudimentar em todas as ferramentas utilizadas. O *software Solid Edge* o que mais se aproxima deste, onde se observa que apenas no *loft* não é utilizado o *sketch* mais rudimentar, utilizando-se um diferente dos analisados.

Tabela 10- Resultados dos sketches selecionados no modo superfície

ferramentas softwares	superfície			
	EXTRUDE	REVOLVE	SWEEP	LOFT
CATIA				
SOLIDWORKS				
SOLID EDGE				
FUSION 360				
ONSHAPE				

Na tabela anterior observa-se que o *software Fusion 360* recorre à utilização do *sketch* mais rudimentar em todas as ferramentas. Novamente, o *software Solid Edge* é o que mais se aproxima deste, utilizando um *sketch* diferente dos analisados em todas as ferramentas.

4.3 ANÁLISE DA MODELAÇÃO DE PEÇAS ORGÂNICAS E PEÇAS PRISMÁTICAS

Previamente à apresentação dos resultados obtidos na modelação das peças é importante referir as interfaces utilizadas para cada *software*. Assim, no *software CATIA* as peças foram modeladas na interface *Mechanical Design* -> *Part Design* para o modo sólido, enquanto que para o modo superfície foi utilizada a interface *Mechanical Design* -> *Wireframe and Surface Design*. Já no

software Solidworks para o modo sólido foi utilizada a interface *Features*, enquanto que para o modo superfície foi utilizada a interface *Surfaces*. Na aplicação *Solid Edge* a modelação ocorreu na interface *Home* para o modo sólido, enquanto que no modo superfície foi utilizada a interface *Surfacing*. Na aplicação *Fusion 360* para o modo sólido foi utilizada a interface *MODEL*, enquanto que para o modo superfície foi utilizada a interface *PATCH*. No *software Onshape* tanto para o modo sólido como para o modo superfície a interface utilizada foi *Part Studio*.

Os resultados obtidos na modelação das peças, pires, chávena e da peça mecânica relativamente às operações utilizadas assim como o tempo despendido encontram-se nas tabelas 11, 12 e 13. Nestas tabelas encontram-se também gráficos com os valores obtidos nas operações e o tempo de modelação na perspetiva percentual. Relativamente ao cálculo percentual, este corresponde a um acréscimo em relação ao menor tempo.

Tabela 11- Resultados obtidos na modelação do pires

Pires (sólido)							
parâmetros softwares	FERRAMENTAS				SOMATÓRIO	TEMPO	
	SKETCH	PLANOS	MIRRORS	OUTRAS	OPERAÇÕES	HORAS	%
CATIA	1	0	0	3	4	0:04:19	27,59%
SOLIDWORKS	1	0	0	4	5	0:03:56	16,26%
SOLID EDGE	1	0	0	4	5	0:03:23	0,00%
FUSION 360	1	0	0	3	4	0:05:46	70,44%
ONSHAPE	1	0	0	3	4	0:05:34	64,53%
Pires (superfície)							
CATIA	1	0	0	1	2	0:04:30	33,00%
SOLIDWORKS	2	0	0	4	6	0:04:01	18,72%
SOLID EDGE	1	0	0	4	5	0:03:23	0,00%
FUSION 360	1	0	0	3	4	0:05:46	70,44%
ONSHAPE	1	0	0	3	4	0:05:34	64,53%

Gráfico de barras horizontais comparando o número de operações e o tempo percentual para a modelação do pires em CATIA, SolidWorks, Solid Edge, Fusion 360 e Onshape. O gráfico mostra que Solid Edge tem o menor tempo percentual (0,00%) e o menor número de operações (5). Fusion 360 e Onshape têm o maior tempo percentual (70,44% e 64,53% respetivamente).

Da tabela anterior é importante realçar o menor tempo de modelação por parte do *software Solid Edge* em ambos os modos, sólido e superfície. Em relação ao número de operações, é de salientar que os *softwares* no modo sólido têm números de operações muito próximos, enquanto no modo superfície é na aplicação *CATIA* que se apresenta menor número.

Tabela 12- Resultados obtidos na modelação da chaveana

Chavena (sólido)								
parâmetros softwares	FERRAMENTAS				SOMATÓRIO	TEMPO		
	SKETCH & PROJEÇÕES	PLANOS	MIRRORS	OUTRAS	OPERAÇÕES	HORAS	%	
CATIA	29	13	0	5	47	0:15:24	35,29%	47
SOLIDWORKS	29	13	0	8	50	0:15:04	32,36%	50
SOLID EDGE	29	13	0	5	47	0:11:23	0,00%	47
FUSION 360	29	13	0	5	47	0:13:56	22,40%	47
ONSHAPE	29	13	0	5	47	0:14:22	26,21%	47
Chavena (superfície)								
CATIA	35	15	0	9	59	0:25:23	64,47%	59
SOLIDWORKS	36	15	0	9	60	0:24:31	58,86%	60
SOLID EDGE	34	16	0	9	59	0:20:32	33,05%	59
FUSION 360	35	15	0	9	59	0:21:52	41,68%	59
ONSHAPE	30	13	0	9	52	0:15:26	0,00%	52

Importa realçar o menor tempo de modelação por parte da aplicação *Solid Edge* no modo sólido e por parte da aplicação *Onshape* no modo superfície da análise da tabela 12.

Tabela 13- Resultados obtidos na modelação da peça mecânica

Peça Mecânica (sólido)								
parâmetros softwares	FERRAMENTAS				SOMATÓRIO	TEMPO		
	SKETCH PLANOS	MIRRORS	OUTRAS	OPERAÇÕES	HORAS	%		
CATIA	17	7	1	17	42	0:29:26	6,77%	42
SOLIDWORKS	17	7	1	17	42	0:29:07	5,62%	42
SOLID EDGE	17	7	1	17	42	0:27:34	0,00%	42
FUSION 360	17	7	1	17	42	0:28:20	2,78%	42
ONSHAPE	17	7	1	17	42	0:28:28	3,26%	42
Peça Mecânica (superfície)								
CATIA	36	15	1	52	104	1:02:53	15,81%	104
SOLIDWORKS	35	15	1	52	103	0:59:38	9,82%	103
SOLID EDGE	36	15	1	57	109	1:03:31	16,97%	109
FUSION 360	43	18	1	52	114	0:54:18	0,00%	114
ONSHAPE	37	21	1	77	136	1:10:16	29,40%	136

Relativamente ao tempo de modelação é importante destacar o menor tempo por parte do *software Solid Edge* no modo sólido e por parte do *software Fusion 360* no modo superfície. De salientar também que em relação ao número de operações, todos os *softwares* apresentam um igual número no modo sólido.

4.4 ANÁLISE DA FERRAMENTA DE MONTAGEM

As interfaces utilizadas para os diferentes *softwares*, bem como as ferramentas utilizadas para a aplicação das *constraints* serão descritas de seguida.

- Na aplicação *CATIA*, a construção do *assembly* foi realizada na interface *Mechanical Design* -> *Assembly Design* e aplicação das *constraints* com as ferramentas *Coincidence Constraint* e *Contact Constraint*.
- No *software Solidworks*, o *assembly* foi executado na interface *Assembly* utilizando a ferramenta *Mate* para aplicar as *constraints*.
- No *software Solid Edge*, o *assembly* foi realizado na interface *Home*, tendo sido utilizadas as ferramentas *Mate* e *Axial Align*.
- No *software Fusion 360*, o *assembly* foi realizado na interface *MODEL*. É de destacar que este processo foi distinto dos restantes *softwares*, pois as *parts* foram desenvolvidas num único ficheiro. Estas são possíveis de selecionar e trabalhar individualmente, sendo este o mesmo ficheiro onde se criou o *assembly*. Para o desenvolvimento deste processo foi utilizada a ferramenta *Joint* para aplicar as *constraints*.
- No *software Onshape*, o *assembly* foi realizado na interface *Assembly* e a ferramenta para aplicar as *constraints* foi a *Revolute mate*.

Na tabela 14 encontram-se os resultados de importação e exportação dos *assemblies* nos diferentes *softwares* com referência ao *software* para onde os ficheiros foram importados (primeira coluna) e o *software* de onde os ficheiros foram exportados (segunda coluna). Nesta tabela também se apresenta os resultados de importação vs exportação das *parts* que compõem os *assemblies* assim como a sua posterior reconstrução.

Tabela 14- Resultados dos testes realizados sobre o assembly

questões softwares		ASSEMBLY		PARTS
		ABRE?	MANTÉM CONSTRAINTS?	CRIAR ASSEMBLY?
Import	Export			
CATIA	SOLIDWORKS	✓	x	✓
	SOLID EDGE	✓	x	✓
	FUSION 360	✓	x	✓
	ONSHAPE	✓	x	✓
SOLIDWORKS	CATIA	✓	x	x
	SOLID EDGE	✓	x	x
	FUSION 360	✓	x	x
	ONSHAPE	✓	x	x
SOLID EDGE	CATIA	✓	x	x
	SOLIDWORKS	✓	x	x
	FUSION 360	✓	x	x
	ONSHAPE	✓	x	x
FUSION 360	CATIA	✓	x	✓
	SOLIDWORKS	✓	x	✓
	SOLID EDGE	✓	x	✓
	ONSHAPE	✓	x	✓
ONSHAPE	CATIA	✓	x	✓
	SOLIDWORKS	✓	x	✓
	SOLID EDGE	✓	x	✓
	FUSION 360	✓	x	✓

Importa salientar que não é possível criar *assembly* com as *parts* importadas para os *softwares* *Solidworks* e *Solid Edge*, sendo necessário por isso importar as *parts*, proceder à sua gravação nos formatos dos *softwares* para posterior construção do *assembly*.

4.5 ANÁLISE DO ESTUDO DE FOTO REALISMO (RENDERING)

Os resultados apresentados nesta secção são apenas referentes à aplicação do *rendering* no *assembly* da chávena com o pires nos diferentes *softwares* (figuras 18, 19, 20 e 21). Os resultados do *rendering* na peça mecânica, da chávena e do pires apresentam-se no anexo III. Ainda de referir que a aplicação do *rendering* realizou-se com a utilização dos parâmetros *standart* e com o mesmo material para cada peça em todos os *softwares*.

É ainda importante referir as ferramentas utilizadas para a aplicação do *rendering* nos diferentes *softwares*. Assim, no *software CATIA* foi utilizada a ferramenta *Photo Studio Easy Tools*. Já no *software Solidworks* foi utilizada a ferramenta *Photo View*. No *software Solid Edge* foi utilizada ferramenta *ERA*, disponível apenas na interface *Assembly*. Por último em relação ao *software Fusion 360* foi utilizada a interface *RENDER*.



Figura 18- Rendering no software CATIA



Figura 19- Rendering no software Solidworks



Figura 20- Rendering no software Solid Edge



Figura 21- Rendering no software Fusion 360

4.6 ESTUDO DE LEVANTAMENTO DE FORMA

No *software CATIA*, o levantamento de forma foi aplicado na interface *Shape -> Digitized Shape Editor*, tendo os ficheiros STL sido abertos no formato STL e os ficheiros txt no formato *Ascii free*. No caso do txt foi necessário criar uma malha de triângulos (*mesh*). Com essa *mesh* e com a *mesh* fornecida pelo ficheiro STL acedeu-se à interface *Shape -> Quick Surface Reconstruction* e à seleção da ferramenta *Automatic Surface* para a execução de uma superfície de forma automática com as *meshes* existentes.

Na aplicação *Solidworks*, o ficheiro STL foi importado no formato *Mesh files* e o txt no formato *Point Cloud*. Foi aplicada a ferramenta *Scan to 3D -> Mesh prep Wizard -> Surface Wizard*.

No *software Fusion 360*, os ficheiros foram abertos na interface *SCULPT* em que foi necessário desativar o *Capture Design History* para criar uma superfície a partir da *mesh*. Isto alterou automaticamente a interface para *MODEL*, sendo por isso apenas necessário aplicar a ferramenta *Mesh to BRep*.

Os resultados relativos à possibilidade de abertura dos ficheiros retirados do *scanner 3D* para os diferentes *softwares* encontram-se na tabela 15.

Tabela 15- Resultados da importação dos ficheiros retirados do scanner 3D

PEÇA	RESOLUÇÃO	FORMATO	ABRE?				
			CATIA	SOLIDWORKS	SOLID EDGE	FUSION 360	ONSHAPE
Punho	1	stl	✓	✓	✓	✓	✗
Punho	1	txt	✓	✓	✗	✗	✗
Punho	3	stl	✓	✓	✓	✓	✗
Punho	3	txt	✓	✓	✗	✗	✗
Rato	1	stl	✓	✓	✓	✓	✗
Rato	1	txt	✓	✓	✗	✗	✗
Rato	10	stl	✓	✓	✓	✓	✗
Rato	10	txt	✓	✓	✗	✗	✗

De salientar que as aplicações *CATIA* e *Solidworks* possuem credencias para ler e abrir os ficheiros em análise, enquanto que o *software Onshape* não permitiu a leitura de nenhum dos ficheiros.

Nas tabelas 16 e 17 apresentamos as superfícies criadas sendo de realçar a incapacidade da criação de uma superfície para o ficheiro punho de resolução 1 e de formato txt no *software CATIA*. Não tendo sido também possível criar qualquer superfície a partir dos ficheiros importados para o *software Solid Edge*.

Tabela 16- Resultados dos objetos criados nos softwares CATIA e Solidworks




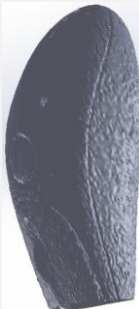











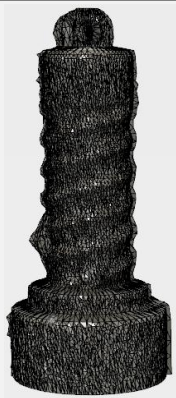
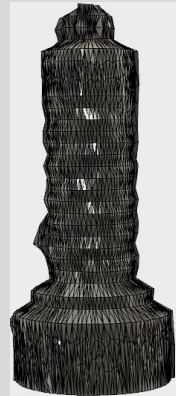


PEÇA	RESOLUÇÃO	FORMATO	CATIA	SOLIDWORKS	PEÇA	RESOLUÇÃO	FORMATO	CATIA	SOLIDWORKS
Punho	1	stl			Rato	1	stl		
Punho	1	txt			Rato	1	txt		
Punho	3	stl			Rato	10	stl		
Punho	3	txt			Rato	10	txt		

Tabela 17- Resultados dos objetos criados no software Fusion 360

PEÇA	RESOLUÇÃO	FORMATO	FUSION 360
Punho	1	stl	
Punho	3	stl	
Rato	1	stl	
Rato	10	stl	

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DAS FUNCIONALIDADES DOS SOFTWARES

São algumas as funcionalidades que um *software* deve possuir para aumentar a aplicabilidade, nomeadamente a existência de 2D, *assembly*, *rendering*, *toolbox*, CAM e CAE, tendo sido demonstrado neste estudo que os *softwares* *Solidworks* e *Fusion 360* possuem todas as características pretendidas, o que demonstra ser uma vantagem para a seleção dos mesmos. Por outro lado, o *software* *Onshape* só possui duas características básicas como o 2D e *assembly*, dificultando a seleção deste *software* por quem pretender uma diversidade de funcionalidades com apenas um *software*.

Em relação à exportação, a aplicação *Solidworks* é o que apresenta uma maior gama de formatos, o que combinado com a vasta gama de formatos de importação torna-se o *software* mais completo neste parâmetro. A aplicação *Onshape* não especifica o tipo de formatos de importação, enquanto os restantes *softwares* possuem uma vasta gama de formatos. Esta característica do *software* *Onshape* pode dificultar a sua escolha para a importação de ficheiros provenientes de outros *softwares* na medida em que não se conhece que formatos a aplicação reconhece. É ainda de realçar que nos *softwares* *Solidworks*, *Solid Edge* e *Fusion 360* é mais fácil de visualizar a compatibilidade com outros *softwares* e seus formatos.

Em relação à durabilidade das licenças dos *softwares* em *cloud*, o período de 1 ano por parte do *software* *Onshape* é algo reduzido comparado com os 3 anos do *software* *Fusion 360*, isto na perspetiva universitária pode restringir consideravelmente o grau de desenvolvimento de projetos na medida em que estes têm usualmente um período alargado de desenvolvimento.

Para os formatos testados, no âmbito de importação e exportação, o *software* *Onshape* poderá ser o menos recomendado para exportar ficheiros, pois dos testes realizados não se conseguiu obter nenhuma solução sem erros. Já na aplicação *Solid Edge* alcançaram-se resultados semelhantes em

relação à exportação, com a incapacidade do mesmo para exportar ficheiros no modo superfície. Estes factos podem influenciar a escolha do *software Solid Edge* para a modelação de peças no modo superfície com a intenção de exportar o ficheiro desenvolvido para outros *softwares*.

5.2 RESULTADOS DAS FERRAMENTAS DE MODELAÇÃO

Neste estudo verificamos que a forma como o *sketch* foi composto também influenciou estes resultados. De facto, o *sketch* mais rudimentar com dois retângulos proporciona uma sobreposição de duas linhas, mas se o *sketch* fosse composto por um retângulo central e por três segmentos de reta, localizados na parte inferior, o resultado final, visualmente o mesmo, mas com influência na escolha do *sketch*, proporcionaria resultados diferentes.

Destes resultados pensamos que a escolha do *sketch* foi influenciada, na sua maioria, pelo modo como as ferramentas em cada *software* operam. Assim, importa perceber como cada *software* seleciona o *sketch* para realizar as operações pretendidas.

O *software CATIA* obriga à seleção de tudo o que foi criado no *sketch*. Já no *software Solidworks* é possível selecionar as áreas presentes no *sketch* onde se deseja aplicar as ferramentas *extrude* e *revolve*, enquanto nas ferramentas *sweep* e *loft* tem de ser selecionado todo o *sketch*. No *software Solid Edge* foi possível selecionar as partes/secções do *sketch* onde se pretende aplicar as ferramentas. A aplicação *Fusion 360* também funciona com a seleção de áreas, mas em comparação com a aplicação *Solidworks*, este permite esta funcionalidade para todas as ferramentas testadas. No *software Onshape* é possível selecionar áreas no modo sólido, enquanto no modo superfície é selecionado partes/secções do *sketch*.

Apesar destas diferenças, os resultados finais obtidos neste estudo são iguais para todas as ferramentas, apesar de não terem sido alcançados com o mesmo número de etapas.

5.3 RESULTADOS DA MODELAÇÃO DE PEÇAS ORGÂNICAS E DE PEÇAS PRISMÁTICAS

Dos resultados obtidos para o tempo de modelação consideramos que, como a aplicação das ferramentas é muito similar em todos os *softwares*, a diferença de tempos pode estar relacionada com a forma de realizar os *sketches*, em cada *software*. Consideramos por isso importante perceber as diferenças neste domínio.

Assim, o *software Solid Edge* permite a atribuição de coordenadas a um ponto antes de o aplicar. O mesmo é possível com segmentos de reta, circunferências, arcos, entre outros.

No caso do *software Fusion 360* apenas a aplicação do ponto difere da aplicação *Solid Edge*, sendo apenas possível alterar as coordenadas do ponto, através de distâncias (*Sketch Dimension*).

O *software Onshape* também não permite a aplicação de coordenadas para o ponto anterior à sua aplicação sendo necessário recorrer às distâncias. Importa salientar que para as restantes geometrias os parâmetros são aplicados logo após a sua colocação ocorrendo de forma automática a sua alteração.

As aplicações *CATIA* e *Solidworks*, são *softwares* muito semelhantes no que diz respeito à criação do *sketch*, pois ambos só permitem alterar dimensões e coordenadas após a aplicação das geometrias. Contudo não apresentam a capacidade de realizar de forma automática alterações às geometrias criadas, sendo por isso necessário seleccionar o que se pretende alterar. É importante notar que a aplicação *Solidworks* é mais rápida do que o *software CATIA*.

Dos resultados obtidos para o número de operações em cada *software*, em cada peça e em cada modo (sólido/superfície), verificamos que na modelação da peça mecânica o número de operações foi igual em todos os *softwares* para o modo sólido. Este resultado suporta o parecer anterior relativamente à noção de que o tempo de modelação é maioritariamente influenciado pela criação do *sketch*. De facto, sendo o *software Solid Edge* o que apresenta o menor tempo de modelação e a aplicação *CATIA* o maior, sugere que esta progressão está relacionada com o aumento da complexidade da criação do *sketch* entre estes *softwares*.

Nos *softwares* em análise surgiu um obstáculo na aplicação da ferramenta *fillet*, nomeadamente nos *softwares Solidworks* e *Solid Edge*, na modelação do pires no modo sólido e superfície. Este obstáculo foi a incapacidade de aplicar esta ferramenta à totalidade das arestas, por isso, a necessidade de desenvolver um *fillet* extra nas arestas em falta, induziu um aumento do número

de operações. Este novo parâmetro apresenta o raio de curvatura pretendido, contudo num diferente modelo (*Face fillet*).

No *software Solidworks*, na modelação da chávena, no modo sólido, foi necessário aplicar mais do que um *fillet*, em oposição aos restantes *softwares*, o que influenciou o número de operações. Além da identificação desta dificuldade, algumas das arestas não foram passíveis de identificação através da aplicação do *fillet*.

Na chávena, no modo superfície, não foi possível aplicar *fillets* devido, possivelmente, ao facto desta ser composta por um conjunto de *bodies*, em oposição ao pires, pois este é composto por apenas um *body*. Esta dificuldade também foi encontrada para a aplicação *CATIA*, no pires, no modo superfície sem possibilidade da sua aplicação, tendo sido necessário adaptar o *sketch*.

De salientar que na aplicação *Solidworks* também foi necessária a criação de *sketch* extra de forma a obter o eixo da peça, necessário para a ferramenta *revolve*, o que influenciou o número de etapas tanto no pires como na chávena, no modo superfície.

Relativamente à ferramenta *sweep* verificamos que apenas o *software Onshape* evidenciou limitações na sua utilização devido à incapacidade de utilizar mais do que um '*sketch to sweep*', na peça chávena, modo superfície. A identificação desta dificuldade levou-nos a optar por um processo de modelação diferente que poderá ter influenciado o tempo de modelação e o número de operações.

Para a ferramenta "criação de planos" foi identificada uma variação da sua utilização por parte dos *softwares*. Assim verificamos que os *softwares CATIA, Solidworks e Fusion 360* têm uma forma semelhante de operar em relação a esta ferramenta, mas diferente em relação ao *software Solid Edge*. Esta diferença não influenciou o número de operações na peça chávena, no modo superfície, na medida em que a aplicação *Solid Edge* criou três planos e os restantes criaram dois planos e um segmento de reta.

Sobre a ferramenta *split/trim* é de referenciar a existência de inconsistência por parte do *software Solid Edge* na medida em que para a aplicação desta ferramenta é necessário a criação de um objeto 3D para definir como parâmetro de corte. Já nos restantes *softwares* o mesmo parâmetro é possível aplicar com a seleção de *sketch*. Esta necessidade influenciou o número de operações para a peça mecânica modo superfície. Importa ainda reportar que para os mesmos parâmetros, por vezes as dificuldades sentidas na aplicação da ferramenta fizeram-se sentir no avanço para a remoção dos objetos, influenciando tanto o número de operações como o tempo de modelação.

Relativamente à ferramenta *fill*, pode referir-se à utilização de diferentes *sketches* para a obtenção do mesmo objeto nos diferentes *softwares*, assim como a sua inexistência no *software Onshape*. Neste *software* obrigou à adoção de um processo de modelação da peça mecânica no modo superfície diferente dos restantes *softwares*, sendo, porém, possível de replicar nos restantes *softwares*. No entanto esta possibilidade levou à presença de alguns erros em alguns *softwares* com o *split/trim* devido à complexidade de alguns *sketches*.

5.4 RESULTADOS DA FERRAMENTA DE MONTAGEM

Em todos os *softwares* as *constraints* não se mantiveram com a importação vs exportação dos *assemblies*, dificultando a transferência entre *softwares* com intenção de manter as *constraints*. Esta limitação pode 'obrigar' à seleção de um único *software* para cada projeto. De evidenciar que nos *softwares Solidworks* e no *Solid Edge*, não foi possível criar *assembly* com as *parts* importadas(113)(114).

5.5 RESULTADOS DA FERRAMENTA DE FOTO REALISMO

Sobre o *rendering*, utilizou-se os parâmetros *standart* nos quatro *softwares* em que o *mesmo* é possível aplicar. Pode-se afirmar que os resultados obtidos no *software Fusion 360* são os que apresentam melhor qualidade de fotorrealismo. De realçar que como foram mantidos os parâmetros *standart* em todos os *softwares*, não se pode afirmar que não é possível obter resultados de melhor qualidade.

5.6 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE FORMA

Em relação ao levantamento de forma foi necessário realizar alterações na *mesh* nos *softwares* *CATIA*, *Solidworks* e *Fusion 360* para permitir a criação da superfície, dependendo da qualidade da *mesh*. Os resultados obtidos no *software Solidworks* para os ficheiros txt do punho, não proporcionam uma boa superfície. Já sobre o *software Solid Edge* foi possível importar os ficheiros STL, tanto do punho como do rato, mas não foi possível criar superfície por carência de ferramentas do *software* (115). Com estes resultados é possível afirmar que para uma vasta utilização do levantamento de forma os *softwares* recomendados são *CATIA* e *Solidworks*.

6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Através do estudo realizado podemos concluir que os softwares *Solidworks* e *Fusion 360* são os mais completos na medida em que além de possuírem todas as funcionalidades pretendidas ainda possuem uma vasta gama de formatos de importação e exportação.

O tempo de modelação das peças sugere depender da criação do *sketch*, com maior evidência na peça mecânica.

O número de operações de modelação (features) e os comandos necessários para a sua concretização depende dos *softwares* e o aparecimento de erros:

- A ferramenta *fillet* foi de difícil aplicação nos *softwares Solidworks* e *Solid Edge*, quer no pires quer na chávena. Todos os *softwares* em análise apresentaram incapacidade para a aplicação de *fillets* na chávena no modo superfície;
- O *software Onshape* foi o único a apresentar limitações na utilização da ferramenta *sweep*;

- O *software Solid Edge* tem limitações na utilização da ferramenta *split/trim* o que influenciou bastante o número de operações e o tempo de modelação sendo de referenciar este *software* como aquele com maior número de erros e de difícil resolução para esta ferramenta;
- O *software Onshape* não apresenta a ferramenta *fill*.

Em relação ao *assembly*, o *software Onshape* foi mais intuitivo de aplicar e testar as *constraints*, já o *software Fusion 360* distingue-se dos restantes no modo como o *assembly* é construído, isto é, as peças que compõem o *assembly* têm de ser todas modeladas no mesmo ficheiro, sendo possível seleccionar em qual se pretende trabalhar.

Na aplicação da ferramenta de *rendering*, em condições “por defeito”, observou-se uma diferença considerável em relação à qualidade do fotorrealismo que beneficiou o resultado apresentado no *software Fusion 360* em comparação com os restantes.

Em relação ao levantamento de forma a modificação da *mesh* foi mais fácil de implementar no *software CATIA*, já em relação à criação de superfície todos os *softwares* apresentaram resultados bastante similares.

Em termos de conclusões genéricas deste trabalho pode-se referir que entre os *softwares* que funcionam em cloud computing, o *software Onshape* foi o mais fácil e intuitivo de utilizar, no entanto só permite modelação 3D e *assembly*. O *Fusion 360* é um *software* muito completo, que disponibiliza vários módulos, e em termos gerais apresentou-se como uma solução bastante “robusta” evidenciando menos erros durante as várias fases do estudo.

Realça-se ainda algumas considerações sobre problemas encontrados na utilização dos *softwares*:

- A ferramenta “projeções” é difícil de aplicar no *software Fusion 360* e não existe na aplicação *Onshape*.
- Os *updates* que o *software Fusion 360* realiza dificultam a iniciação do *software*.
- A rotação que os *softwares CATIA* e *Fusion 360* fazem automaticamente para uma perspetiva 2D quando selecionado a ferramenta “*sketch*” e o plano onde se pretende aplicar, facilitam as operações.
- A aplicação *Solid Edge* é a única, entre os *softwares* em análise, onde é utilizada a vírgula em vez do ponto na aplicação de coordenadas com casas decimais, o que dificulta a sua utilização quando o utilizador está mais familiarizado com outra realidade.

- No *software Onshape* são atribuídas cores distintas aos elementos geométricos (*bodies*) que constituem a peça pretendida, o que permite distinguir melhor os diferentes corpos (*bodies*) modelados (anexo IV).
- O ritmo de trabalho na modelação das peças pode ter influenciado os tempos, principalmente nas peças mais complexas, pois apesar de se ter procurado manter o mesmo ritmo, este pode ter sido variável entre peças.
- Não é possível afirmar que os processos utilizados para realizar as etapas pretendidas sejam os mais indicados pois existem várias abordagens para modelar uma peça, possivelmente com soluções idênticas.

6.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Este trabalho desenvolvido assume-se como um primeiro contributo na perspetiva de conciliar as vantagens e desvantagens dos softwares em análise, no que diz respeito a melhorar o processo de ensino-aprendizagem de futuros utilizadores.

Neste estudo foram analisadas as características dos softwares em estudo, que no futuro beneficiarão com o aprofundamento, nomeadamente através da análise comparativa que envolva projetos de maior complexidade.

Nesse sentido, apresentam-se algumas sugestões de trabalho futuro que poderão contribuir para uma maior robustez e validação dos resultados apresentados:

- Realizar as etapas apresentadas neste trabalho por diversos utilizadores para compreender o efeito da variabilidade inerente a cada utilizador nos resultados obtidos.
- Realizar as etapas apresentadas neste trabalho por métodos diferentes de modelação.
- Realizar um estudo nos mesmos softwares com enfoque nas ferramentas CFD, CAM, rendering, assembly e levantamento de forma.
- Realizar um estudo para aprofundar a caracterização dos 2 ou 3 melhores softwares em análise, com recurso a uma maior gama de peças.

7 REFERÊNCIAS

1. Horvath I. Shifting paradigms of computer aided design. Delft University Press; 1998.
2. Tornincasa S, Monaco F Di. THE FUTURE AND THE EVOLUTION OF CAD. [cited 2017 Jun 11]; Available from:
<https://pdfs.semanticscholar.org/977f/5f1b7053d84e6829c149b966f01643adcbf3.pdf>
3. David E. Weisberg. Chapter 2 A Brief Overview of the History of CAD, in The Engineering Design Revolution 2008, [cited 2017 Jun 11]; Available from:
<http://images.designworldonline.com.s3.amazonaws.com/CADhistory/85739614-The-Engineering-Design-Revolution-CAD-History.pdf>
4. Mell P, Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. U.S. Department of Commerce; September 2011.
5. Singh S, Jeong Y-S, Park JH. A survey on cloud computing security: Issues, threats, and solutions. J Netw Comput Appl. 2016;75:200–22.
6. Subashini S, Kavitha V. A survey on security issues in service delivery models of cloud computing. J Netw Comput Appl. 2011;34(1):1–11.
7. Sasikala Lecturer S, Lecturer SP. MASSIVE CENTRALIZED CLOUD COMPUTING (MCCC) EXPLORATION IN HIGHER EDUCATION. 2010 [cited 2017 Jun 12]; Available from:
<http://14.139.186.108/jspui/bitstream/123456789/1528/1/80-11.pdf>
8. Simões JA, Relvas C, Moreira R. Project-based teaching-learning computer-aided engineering tools. Eur J Eng Educ [Internet]. 2004 Mar 12 [cited 2017 Jun 12];29(1):147–61. Available from: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0304379032000129223>
9. National Association of Industrial and Technical Teacher Educators. R, National Association of Industrial Teacher Educators. RE. Journal of industrial teacher education. [Internet]. Vol.

- 32, Journal of Industrial Teacher Education. National Association of Industrial and Technical Teacher Educators; 1995 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v32n2/hansen.html>
10. Herschbach DR. Technology and Efficiency: Competencies as Content. J Technol Educ [Internet]. 1992 [cited 2017 Jun 12];3(2). Available from: <https://scholar.lib.vt.edu/ejournals/JITE/v3n2/pdf/herschbach2.pdf>
 11. American Society for Engineering Education. G, Thouless M, Dutta D, Ceccio SL, Tilbury DM. Journal of engineering education. [Internet]. Vol. 90, Journal of Engineering Education. American Society for Engineering Education; 2001 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://experts.umich.edu/en/publications/the-new-mechanical-engineering-curriculum-at-the-university-of-mi>
 12. Mell P, Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce; September 2011.
 13. Staten, J. Hollow Out The MOOSE: Reducing Cost With Strategic Rightsourcing. Forrester Research, Inc., 2009.
 14. Vaquero LM, Roderio-Merino L, Caceres J, Lindner M. A Break in the Clouds: Towards a Cloud Definition. CCR January 2009.
 15. Lu C-W, Hsieh C-M, Chang C-H, Yang C-T. An Improvement to Data Service in Cloud Computing with Content Sensitive Transaction Analysis and Adaptation. In: 2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops. IEEE; 2013. p. 463–8.
 16. B. Gardiner. Information Computing and Applications, Part I: International Conference, ICICA 2010 - Google Livros [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: [https://books.google.pt/books?id=XNQDo41maY8C&pg=PA256&dq=B.+Gardiner+cloud+computing&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwijpsW3jrjUAhUGtxoKHTX7DXoQ6AEIKDAB#v=onepage&q=B.Gardiner cloud computing&f=false](https://books.google.pt/books?id=XNQDo41maY8C&pg=PA256&dq=B.+Gardiner+cloud+computing&hl=pt-PT&sa=X&ved=0ahUKEwijpsW3jrjUAhUGtxoKHTX7DXoQ6AEIKDAB#v=onepage&q=B.Gardiner+cloud+computing&f=false)
 17. J. Staten, et al., "Is Cloud Computing Ready For The Enterprise?" Forrester Research, 2008.
 18. Lin Y-T, Wen M-L, Jou M, Wu D-W. A cloud-based learning environment for developing student reflection abilities. Comput Human Behav [Internet]. 2014 [cited 2017 Jun

- 12];32:244–52. Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563213004561>
19. Jou M, Wang J. Observations of achievement and motivation in using cloud computing driven CAD: Comparison of college students with high school and vocational high school backgrounds. *Comput Human Behav* [Internet]. 2013 [cited 2017 Jun 12];29(2):364–9. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563212002361>
 20. Stantchev V, Colomo-Palacios R, Soto-Acosta P, Misra S. Learning management systems and cloud file hosting services: A study on students' acceptance. *Comput Human Behav* [Internet]. 2014 [cited 2017 Jun 12];31:612–9. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563213002409>
 21. Chandra DG, Borah Malaya D. Role of cloud computing in education. In: 2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET) [Internet]. IEEE; 2012 [cited 2017 Jun 12]. p. 832–6. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6203884/>
 22. Marian Bozdoc's. History of CAD [Internet]. 2003 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.mbdesign.net/mbinfo/CAD-History.htm>
 23. CAD software history CAD CAM computer aided design [Internet]. 2004 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.cadazz.com/cad-software-history.htm>
 24. Explicit 3D Modeling: An Alluring Alternative for 2D Holdouts. White Paper, Parametric Technology Corporation (PTC), 2008.
 25. Lichtenberg J. A New Approach to Eliminating Barriers to Collaboration in Multi-CAD Environments, White Paper, SpaceClaim Corporation.
 26. Gordon L. Comparing 3D CAD modelers | Archive content from Machine Design [Internet]. 2006 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://machinedesign.com/article/comparing-3d-cad-modelers-1122>
 27. Kim J, Pratt MJ, Iyer RG, Sriram RD. Standardized data exchange of CAD models with design intent. *Comput Des*. 2008;40(7):760–77.
 28. Vecchiola C. Mastering Cloud Computing. 2013 [cited 2017 Jun 12]; Available from: <http://www.buyya.com/MasteringClouds/ToC-Preface-TMH.pdf>

29. Liu H. Big Data Drives Cloud Adoption in Enterprise. *IEEE Internet Comput.* 2013 Jul;17(4):68–71.
30. Nicholas Carr. The Big Switch: Rewiring the World, from Edison to Google - Nicholas Carr - Google Livros [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://books.google.pt/books?id=t6QY-c0XN7UC&printsec=frontcover&hl=pt-PT#v=onepage&q&f=false>
31. Sajid, Mohammad; Raza Z. Cloud Computing: Issues & Challenges [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: http://www.academia.edu/8075926/Cloud_Computing_Issues_and_Challenges
32. Armbrust M, Stoica I, Zaharia M, Fox A, Griffith R, Joseph AD, et al. A view of cloud computing. *Commun ACM.* 2010 Apr;53(4):50.
33. Fernando N, Loke SW, Rahayu W. Mobile cloud computing: A survey. *Futur Gener Comput Syst.* 2013;29(1):84–106.
34. Kumar D, Baranwal G, Raza Z, Vidyarthi DP. A systematic study of double auction mechanisms in cloud computing. *J Syst Softw.* 2017;125:234–55.
35. Samimi P, Teimouri Y, Mukhtar M. A combinatorial double auction resource allocation model in cloud computing. *Inf Sci (Ny)* [Internet]. 2016 Aug [cited 2017 Jun 12];357:201–16. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020025514001054>
36. Buyya R, Abramson D, Giddy J, Stockinger H. Economic models for resource management and scheduling in Grid computing. *Concurr Comput Pr Exper* [Internet]. 2002 [cited 2017 Jun 12];14:1507–42. Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/269e/c66ff7e38657aaf7eb9e612908b3e788c6.pdf>
37. Mihailescu M, Teo YM. Dynamic Resource Pricing on Federated Clouds. In: 2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing [Internet]. IEEE; 2010 [cited 2017 Jun 12]. p. 513–7. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5493446/>
38. Narahari Y, Raju CVL, Ravikumar K, Shah S. Dynamic pricing models for electronic business. *Sadhana* [Internet]. 2005 Apr [cited 2017 Jun 12];30(2–3):231–56. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF02706246>

39. Snaith B, Hardy M, Walker A. Emergency ultrasound in the prehospital setting: the impact of environment on examination outcomes. *Emerg Med J* [Internet]. 2011 Dec [cited 2017 Jun 12];28(12):1063–5. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21450758>
40. Dubey A, Wagle D. Delivering software as a service. *The McKinsey Quarterly* (May 2007) 1–12.
41. Sasikala P. Research challenges and potential green technological applications in cloud computing. *Int J Cloud Comput*. 2013;2(1):1–19.
42. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. CR, Arias CA, Guerrero YN. Latin American and Caribbean journal of engineering education. [Internet]. Vol. 6, Latin American and Caribbean Journal of Engineering Education. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions; 2013 [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://journal.laccei.org/index.php/lacjee/article/view/58>
43. Supercomput J, Garg SK, Vecchiola C, Buyya R, Garg SK, Vecchiola C, et al. Mandi: a market exchange for trading utility and cloud computing services. [cited 2017 Jun 12]; Available from: <http://www.cloudbus.org/papers/Mandi-Market-Cloud-JoS.pdf>
44. Fotiou N, Machas A, Polyzos GC, Xylomenos G. Access control as a service for the Cloud. *J Internet Serv Appl* [Internet]. 2015 Dec 1 [cited 2017 Jun 12];6(1):11. Available from: <http://www.jisajournal.com/content/6/1/11>
45. Erdogmus H. Cloud Computing: Does Nirvana Hide behind the Nebula? *IEEE Softw* [Internet]. 2009 Mar [cited 2017 Jun 12];26(2):4–6. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4786942/>
46. Leavitt N. Is Cloud Computing Really Ready for Prime Time? [cited 2017 Jun 12]; Available from: <http://www.leavcom.com/pdf/Cloudcomputing.pdf>
47. B. Gomolski. U.S. IT Spending and Staffing Survey, Gartner Research, 2005.
48. Cloud Computing Features, Issues and Challenges: A Big Picture. Deep Puthal; B P S Sahoo; Sambit Mishra. 2015 International Conference on Computational Intelligence & Networks.
49. Geng Lin G, Fu D, Jinzy Zhu J, Dasmalchi G. Cloud Computing: IT as a Service. *IT Prof* [Internet]. 2009 Mar [cited 2017 Jun 12];11(2):10–3. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4804041/>

50. Da Cunha Rodrigues G, Calheiros RN, Guimaraes VT, Santos GL dos, de Carvalho MB, Granville LZ, et al. Monitoring of cloud computing environments. In: Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing - SAC '16. New York, New York, USA: ACM Press; 2016. p. 378–83.
51. Tan X, Ai B. The issues of cloud computing security in high-speed railway. In: Proceedings of 2011 International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology [Internet]. IEEE; 2011 [cited 2017 Jun 12]. p. 4358–63. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6023923/>
52. Li J, Li B, Wo T, Hu C, Huai J, Liu L, et al. CyberGuarder: A Virtualization Security Assurance Architecture for Green Cloud Computing. [cited 2017 Jun 12]; Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/f8e6/38cc98a9ecce10945715f333b78a0c0b4d05.pdf>
53. Tianfield H. Security issues in cloud computing. In: 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC) [Internet]. IEEE; 2012 [cited 2017 Jun 12]. p. 1082–9. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6377874/>
54. Shiau W-L, Hsiao C-M, Shiau W-L, Hsiao C-M. A Unified Framework of the Cloud Computing Service Model. J Electron Sci Technol. 2013;11(2):150–60.
55. Montes J, Sánchez A, Memishi B, Pérez MS, Antoniu G. GMonE: A complete approach to cloud monitoring. Futur Gener Comput Syst. 2013;29(8):2026–40.
56. Hashizume K, Rosado DG, Fernández-Medina E, Fernandez EB. An analysis of security issues for cloud computing. J Internet Serv Appl [Internet]. 2013 [cited 2017 Jun 12];4(1):5. Available from: <http://jisajournal.springeropen.com/articles/10.1186/1869-0238-4-5>
57. O'Driscoll A, Dugelaite J, Sleator RD. “Big data”, Hadoop and cloud computing in genomics. J Biomed Inform. 2013 Oct;46(5):774–81.
58. Products & Services | Google Cloud Platform [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://cloud.google.com/products/>
59. Cloud Application Platform | Heroku [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.heroku.com/>
60. Brandic I. Towards Self-Manageable Cloud Services. In: 2009 33rd Annual IEEE International Computer Software and Applications Conference. IEEE; 2009. p. 128–33.

61. Feller E, Rilling L, Morin C. Snooze: A Scalable and Autonomic Virtual Machine Management Framework for Private Clouds Snooze: A Scalable and Autonomic Virtual Machine Management Framework for Private Clouds. 2012;
62. Rak M, Venticinque S, M'hr T, Echevarria G, Esnal G. Cloud Application Monitoring: The mOSAIC Approach. In: 2011 IEEE Third International Conference on Cloud Computing Technology and Science. IEEE; 2011. p. 758–63.
63. Elastic Compute Cloud (EC2) – Servidor e hospedagem na nuvem – AWS [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://aws.amazon.com/ec2/>
64. Nurmi D, Wolski R, Grzegorzczak C, Obertelli G, Soman S, Youseff L, et al. The Eucalyptus Open-source Cloud-computing System. In Proceedings of the 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, (CCGRID '09), 2009.
65. Sotomayor B, Montero RS, Llorente IM, Foster I. Virtual Infrastructure Management in Private and Hybrid Clouds. IEEE Internet Comput. 2009 Sep;13(5):14–22.
66. Detecting Intrusions in the Cloud Environment | Áine MacDermott - Academia.edu [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: http://www.academia.edu/8018765/Detecting_Intrusions_in_the_Cloud_Environment
67. Lombardi F, Di Pietro R. Secure virtualization for cloud computing. J Netw Comput Appl [Internet]. 2011 [cited 2017 Jun 12];34(4):1113–22. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1084804510001062>
68. Ali M, Khan SU, Vasilakos A V, Youn H. Security in cloud computing: Opportunities and challenges. 2015 [cited 2017 Jun 12]; Available from: <http://www.parkjonghyuk.net/lecture/2015-1st-lecture/networksecurity/Paper2.pdf>
69. Park SC, Ryoo SY. An empirical investigation of end-users' switching toward cloud computing: A two factor theory perspective. Comput Human Behav. 2013;29(1):160–70.
70. Aceto G, Botta A, de Donato W, Pescapè A. Cloud monitoring: A survey. Comput Networks. 2013;57(9):2093–115.
71. Marston S, Li Z, Bandyopadhyay S, Zhang J, Ghalsasi A. Cloud computing ? The business perspective. Decis Support Syst [Internet]. 2011 Apr [cited 2017 Jun 12];51(1):176–89. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167923610002393>

72. Somorovsky J, Heiderich M, Jensen M, Schwenk J, Gruschka N, Iacono L Lo. All Your Clouds are Belong to us – Security Analysis of Cloud Management Interfaces. [cited 2017 Jun 12]; Available from:
<https://www.nds.rub.de/media/nds/veroeffentlichungen/2011/10/22/AmazonSignatureWrapping.pdf>
73. Gou, Zhaolong; Yamaguchi, Shingo; Gupta BB. Handbook of Research on Modern Cryptographic Solutions for Computer and Cyber Security - Google Livros [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=Ctk6DAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA393&dq=Analysis+of+Various+Security+Issues+and+Challenges+in+Cloud+Computing+Environment:+A+Survey&ots=8xGI3CxyBa&sig=xKU6yGsn2qQpFcO8AEZqYF7IbTI&redir_esc=y#v=onepage&q=Analysis%2520of%25
74. Ussath M, Jaeger D, Cheng F, Meinel C. Advanced persistent threats: Behind the scenes [Internet]. 2016 [cited 2017 Jun 12]. Available from:
<https://www.deepdyve.com/lp/institute-of-electrical-and-electronics-engineers/advanced-persistent-threats-behind-the-scenes-s0Fdj1HS10>
75. Fernandes DAB, Soares LFB, Gomes J V, Freire MM, Inácio PRM, Fernandes D, et al. Security Issues in Cloud Environments — A Survey. [cited 2017 Jun 12]; Available from:
<http://www.di.ubi.pt/~mario/artigos/2013-IJIS.pdf>
76. Singh V, Pandey SK. CLOUD SECURITY RELATED THREATS. Int J Sci Eng Res [Internet]. 2013 [cited 2017 Jun 12];4(9). Available from: <http://www.ijser.org>
77. Chang V, Kuo Y-H, Ramachandran M. Cloud computing adoption framework: A security framework for business clouds. Futur Gener Comput Syst [Internet]. 2016 [cited 2017 Jun 12];57:24–41. Available from:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X15003118>
78. Saripalli P, Walters B. QUIRC: A Quantitative Impact and Risk Assessment Framework for Cloud Security. [cited 2017 Jun 12]; Available from: <https://ai2-s2-pdfs.s3.amazonaws.com/0c60/1b8c05fed9421dd9228e07fb71361f1812b9.pdf>
79. Liu Y, Sun Y, Ryoo J, Rizvi S, Vasilakos A V. A Survey of Security and Privacy Challenges in Cloud Computing: Solutions and Future Directions. J Comput Sci Eng [Internet]. 2015 [cited 2017 Jun 12];9(3):119–33. Available from: <http://jcse.kiise.org/files/V9N3-01.pdf>

80. Xiao Z, Xiao Y. Security and Privacy in Cloud Computing. IEEE Commun Surv TUTORIALS [Internet]. 2013 [cited 2017 Jun 12];15(2). Available from: <https://pdfs.semanticscholar.org/6bf0/9fec0557a3d95f874c841e830a1b9a4d3346.pdf>
81. Modi C, Patel D, Borisaniya B, Patel A, Rajarajan M. A survey on security issues and solutions at different layers of Cloud computing. J Supercomput [Internet]. 2013 Feb 13 [cited 2017 Jun 12];63(2):561–92. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s11227-012-0831-5>
82. Hoole SRH. Engineering education, design and senior projects. IEEE Trans Educ [Internet]. 1991 May [cited 2017 Jun 12];34(2):193–8. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/81601/>
83. Shiao W-L, Chau PYK. Understanding behavioral intention to use a cloud computing classroom: A multiple model comparison approach. Inf Manag [Internet]. 2016 Apr [cited 2017 Jun 12];53(3):355–65. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378720615001202>
84. Sultan N. Cloud computing for education: A new dawn? Int J Inf Manage [Internet]. 2010 Apr [cited 2017 Jun 12];30(2):109–16. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0268401209001170>
85. James P, Hopkinson L. Sustainable ICT in Further and Higher Education Sustainable ICT in Further and Higher Education for Economic and Environmental Development. 2009 [cited 2017 Jun 12]; Available from: <http://www.ictliteracy.info/rf.pdf/rptgreenictv1.pdf>
86. Katz RN. The Gathering Cloud: Is This the End of the Middle? [cited 2017 Jun 12]; Available from: <https://www.educause.edu/ir/library/pdf/PUB7202d.pdf>
87. Weinhardt C, Anandasivam A, Blau B, Stosser J. Business Models in the Service World. IT Prof [Internet]. 2009 Mar [cited 2017 Jun 12];11(2):28–33. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4804046/>
88. short_history_of_catia.pdf | Technology | Computing [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://pt.scribd.com/document/328625306/short-history-of-catia-pdf>
89. isicad :: The DASSAULT SYSTEMES Success Story [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: http://isicad.net/articles.php?article_num=14120

90. 1977: CATIA | History of Innovation [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://aehistory.wordpress.com/1977/01/01/1977-catia/>
91. FreeCAD - FreeCAD / CAD History [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.freecad.sk/en/cad-history>
92. CATIA CAD Software Review by IndiaCADworks [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.indiacadworks.com/blog/catia-a-cad-software-review/>
93. What is CATIA? - Professional industrial design services, High value-added mold and High quality product suppliers [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.firstratemold.com/about-us/c19-news/what-is-catia/>
94. Product Lifecycle Management Services. [cited 2017 Jun 12]; Available from: http://www-07.ibm.com/services/pdf/product_lifecycle_management_services.pdf
95. Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application (CATIA) - Definition from Techopedia [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.techopedia.com/definition/6347/computer-aided-three-dimensional-interactive-application-catia>
96. Company History | About SOLIDWORKS | SOLIDWORKS [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: http://www.solidworks.com/sw/656_ENU_HTML.htm
97. PRODuCT LiFECyCLE MAnAgEMEnT MADE EASy An effective PLM strategy shortens time to market and increases profitability. [cited 2017 Jun 12]; Available from: http://www.solidworks.com/sw/docs/SW-PLM_Whitepaper_2012.pdf
98. 3D CAD Design Engineering Products | SOLIDWORKS [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.solidworks.com/sw/3d-cad-design-software.htm>
99. United States / English - Solid Edge [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://solidedgehelp.weebly.com/united-states--english.html>
100. PLM - Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto: Siemens PLM Software [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: https://www.plm.automation.siemens.com/pt_br/
101. Modeling synchronous and ordered features. [cited 2017 Jun 12]; Available from: <https://support.industrysoftware.automation.siemens.com/training/se/en/ST3/pdf/spse01536.pdf>

102. Autodesk | 3D Design, Engineering & Entertainment Software [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.autodesk.com/>
103. Fusion 360 for Product Design and Manufacturing [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: http://redstack.com.au/support/blog_posts/fusion-360-for-product-design
104. Onshape | crunchbase [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.crunchbase.com/organization/onshape-inc-#/entity>
105. Press Release | Onshape Raises \$80 Million in Funding Led By Andreessen Horowitz [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.onshape.com/press-release/onshape-raises-new-round-of-funding>
106. Press Release | Onshape Launches Commercial Release [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.onshape.com/press-release/commercial-release>
107. Jon Hirschtick - Onshape is the New Generation of CAD & ENGINEERING.com [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <http://www.engineering.com/DesignSoftware/DesignSoftwareArticles/ArticleID/11157/Jon-Hirschtick--Onshape-is-the-New-Generation-of-CAD.aspx>
108. CAD Features | Onshape [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.onshape.com/cad-features>
109. Press Release | Onshape Introduces Education Plan [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.onshape.com/press-release/education-plan>
110. Introducing The Onshape App Store [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.onshape.com/cad-blog/introducing-the-onshape-app-store>
111. Fusion 360 | Free Software for Students, Educators | Autodesk [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>
112. Education | Onshape [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: https://www.onshape.com/edu?hsCtaTracking=e0465b07-ea58-4255-90f4-eeeea20b34245%7Cb16cc61b-db32-47fe-93a9-f188d65bd007&__hstc=77027530.fc2f2de0847a54bfae98475be9f49aee.1487269718447.1487269718447.1487269718447.1&__hssc=77027530.4.1487269718448&__hsfp=36112

113. Can you create a Solidworks Assembly with step files? - GrabCAD [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://grabcad.com/questions/can-you-create-a-solidworks-assembly-with-step-files>
114. Placing parts in assemblies [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: http://www.soliddna.com/SEHelp/ST6/EN/assemble_parts/plprt1a.htm
115. Convert STL to solid - Siemens PLM Community - 270915 [Internet]. [cited 2017 Jun 12]. Available from: <https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Solid-Edge-Forum/Convert-STL-to-solid/td-p/270915>

ANEXOS

Anexo I – Peça mecânica

Anexo II

Formatos de Importação e Exportação

Tabela 18- Formatos de importação e exportação do software CATIA

questões software	FORMATO	
	IMPORT	EXPORT
CATIA	All CATIA V4 & V5 Files	stl
	All Standard Files (*.igs;*.wrl;*.stp;*.step)	igs
	All Vector Files (*.cgm;*.gl;*.gl2;*.hpgl)	model
	All Bitmap Files (*.*)	stp
	3dmap (*.3dmap)	3dmap
	3dxml (*.3dxml)	3dxml
	act (*.act)	cgr
	asm (*.asm)	hcg
	bdf (*.bdf)	icem
	brd (*.brd)	NavRep
	cdd (*.cdd)	vps
	cgm (*.cgm)	wrl
	dwg (*.dwg)	
	dxf (*.dxf)	
	gl (*.gl)	
	gl2 (*.gl2)	
	hpgl (*.hpgl)	
	icem (*.icem)	
	idf (*.idf)	
	ig2 (*.ig2)	
	igs (*.igs)	
	library (*.library)	
	model (*.model)	
	pdb (*.pdb)	
	ps (*.ps)	
	session (*.session)	
	step (*.step)	
	stp (*.stp)	
	svg (*.svg)	
	tdg (*.tdg)	
	wrl (*.wrl)	

Tabela 19- Formatos de importação e exportação do software Solidworks

questões software	FORMATO	
	IMPORT	EXPORT
Solidworks	Solidworks Files	Part (*.prt;*.sldprt)
	Part (*.prt;*.sldprt)	Lib Feat Part (*.sldlfp)
	Assembly (*.asm;*.sldasm)	Part Templates (*.prtdot)
	Drawing (*.drw;*.slddrw)	Form Tool (*.sldftp)
	DXF (*.dxf)	Parasolid Binary (*.x_b)
	DWG (*.dwg)	IGES (*.igs)
	Adobe Photoshop Files (*.psd)	STEP AP203 (*.step;*.stp)
	Adobe Illustrator Files (*.ai)	STEP AP214 (*.step;*.stp)
	Lib Feat Part (*.lfp;*.sldlfp)	IFC 2x3 (*.ifc)
	Template (*.prtdot;*.asmdot;*.drwdot)	IFC 4 (*.ifc)
	Parasolid (*.x_t;*.x_b;*.xmt_txt;*.xmt_bin)	ACIS (*.sat)
	IGES (*.igs;*.iges)	VDAFS (*.vda)
	STEP AP203/214 (*.step;*.stp)	VRML (*.wrl)
	IFC 2x3 (*.ifc)	STL (*.stl)
	ACIS (*.sat)	Additive Manufacturing File (*.amf)
	VDAFS (*.vda)	eDrawings (*.eprt)
	VRML (*.wrl)	3D XML (*.3dxml)
	STL (*.stl)	Microsoft XAML (*.xaml)
	CATIA Graphics (*.cgr)	CATIA Graphics (*.cgr)
	SLDXML (*.sldxml)	ProE/Creo Part (*.prt)
	ProE/Creo Part (*.prt;*.prt.*;*.xpr)	HCG (*.hcg)
	ProE/Creo Assembly (*.asm;*.asm.*;*.xas)	HOOPS HSF (*.hsf)
	Unigraphics/NX (*.prt)	Dxf (*.dxf)
	Inventor Part (*.ipt)	Dwg (*.dwg)
	Inventor Assembly (*.iam)	Adobe Portable Document Format (*.pdf)
	Solid Edge Part (*.par;*.psm)	Adobe Photoshop Files (*.psd)
	Solid Edge Assembly (*.asm)	Adobe Illustrator Files (*.ai)
	CADKEY (*.prt;*.ckd)	JPEG (*.jpg)
	Add-Ins (*.dll)	Portable Network Graphics (*.png)
	IDF (*.emn;*.brd;*.bdf;*.idb)	SOLIDWORKS Composer (*.smg)
	Rhino (*.3dm)	Tif (*.tif)

Tabela 20- Formatos de importação e exportação do software Solid Edge

questões software	FORMATO	
	IMPORT	EXPORT
Solid Edge	All Solid Edge documents (...)	Part documents (*.par)
	Assembly documents (*.asm)	Parasolid documents (*.x_b;*.x_t)
	Draft documents (*.dft)	JT documents (*.jt)
	Part documents (*.par)	XGL documents (*.xgl)
	Sheet Metal documents (*.psm)	ACIS documents (*.sat)
	Weldment documents (*.pwd)	CATIA V4 documents (*.model)
	Parasolid documents (*.x_b;*.x_t)	CATIA V5 Part documents (*.catpart)
	JT documents (*.jt)	IGES documents (*.iges;*.igs)
	NX documents (*.prt)	STEP documents (*.step;*.stp)
	ACIS documents (*.sat)	STL documents (*.stl)
	AutoCAD documents (*.dwg)	XML documents (*.plmxml)
	AutoCAD documents (*.dxf)	Adobe Acrobat documents (*.pdf)
	CATIA V4 documents (*.model)	3D Adobe Acrobat documents (*.pdf)
	CATIA V5 Assembly documents (*.catproduct)	Universal 3D (*.u3d)
	CATIA V5 Part documents (*.catpart)	Viewer document (*.sev)
	IGES documents (*.iges;*.igs)	KeyShot (*.bip)
	Inventor Assembly documents (*.iam)	
	Inventor Part documents (*.ipt)	
	MicroStation documents (*.dgn)	
	Pro/ENGINEER Assembly documents (*.asm;*)	
	Pro/ENGINEER Part documents (*.prt;*)	
	SDRC Package documents (*.xpk;*.plmxpk)	
	Solidworks Assembly documents (*.sldasm)	
	Solidworks Part documents (*.sldprt)	
	STEP documents (*.step;*.stp)	
	STL documents (*.stl)	
	XML documents (*.plmxml)	

Tabela 21- Formatos de importação e exportação do software Fusion 360

software \ questões	FORMATO	
	IMPORT	EXPORT
Fusion 360	Alias Files (*.wire) AutoCAD DWG Files (*.dwg) Autodesk Fusion 360 Archive Files (*.f3d;*.f3z) Autodesk Fusion 360 Toolpath Archive Files (*.cam360) Autodesk Inventor Files (*.iam;*.ipt) CATIA V5 Files (*.CATProduct;*.CATPart) DXF Files (*.dxf) FBX Files (*.fbx) IGES Files (*.ige;*.iges;*.igs) NX Files (*.prt) OBJ Files (*.obj) Parasolid Binary Files (*.x_b) Parasolid Text Files (*.x_t) Pro/ENGINEER and Creo Parametric Files (*.asm;*.prt*) Pro/ENGINEER Granite Files (*.g) Pro/ENGINEER Neutral Files (*.neu*) Rhino Files (*.3dm) SAT/SMT Files (*.sab;*.sat;*.smb;*.smt) Solidworks Files (*.prt;*.asm;*.sldprt;*.sldasm) STEP Files (*.ste;*.step;*.stp) STL Files (*.stl) SketchUp Files (*.skp) 123D Files (*.123dx)	Archive Files (*.f3d) IGES Files (*.igs;*.iges) SAT Files (*.sat) SMT Files (*.smt) STEP Files (*.stp;*.step)

Tabela 22- Formatos de importação e exportação do software Onshape

software \ questões	FORMATO	
	IMPORT	EXPORT
Onshape	all files	parasolid acis step iges solidworks collada rhino stl

Anexo III- *Rendering*

CATIA



Figura 23- Rendering da chávena no software CATIA



Figura 24- Rendering do pires no software CATIA

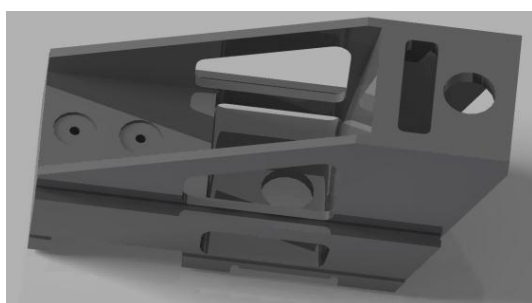


Figura 25- Rendering da peça mecânica no software CATIA

Solidworks



Figura 26- Rendering da chávena no software Solidworks



Figura 27- Rendering do pires no software Solidworks

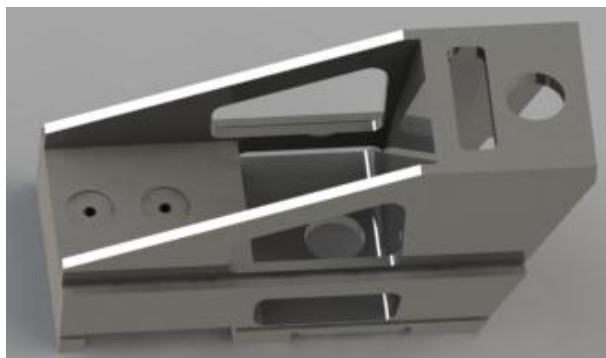


Figura 28- Rendering da peça mecânica no software Solidworks

Solid Edge



Figura 29- Rendering da chávena no software Solid Edge

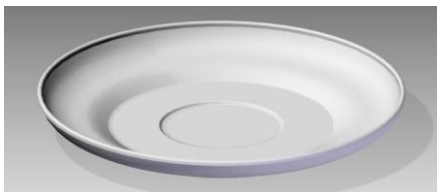


Figura 30- Rendering do pires no software Solid Edge



Figura 31- Rendering da peça mecânica no software Solid Edge

Fusion 360



Figura 32- Rendering da chávena no software Fusion 360



Figura 33- Rendering do pires no software Fusion 360

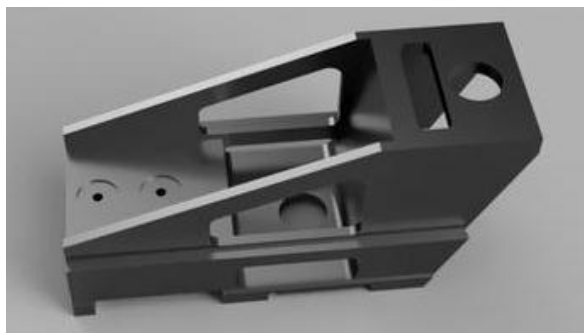


Figura 34- Rendering da peça mecânica no software Fusion 360

Anexo IV- Onshape

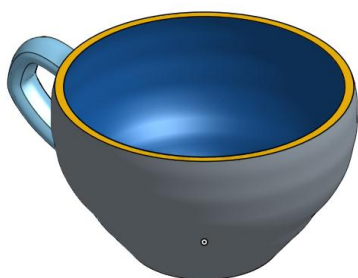


Figura 35- Chávena modelada no software Onshape no modo superfície

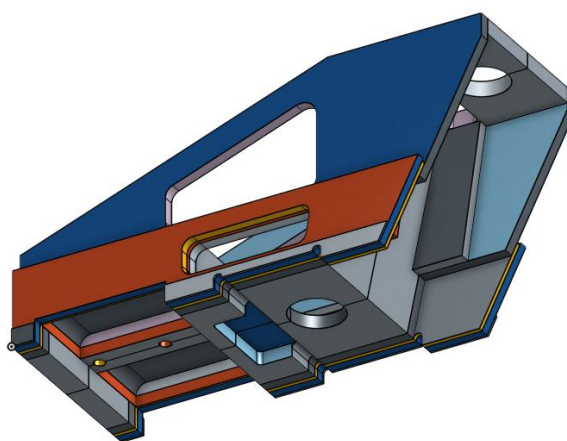


Figura 36- Peça mecânica modelada no software Onshape no modo superfície